

INFARTO DE MIOCARDIO

EL GALEON ESPAÑOL

BIOTECNOLOGIA VEGETAL

Edición española de
SCIENTIFIC AMERICAN

EL TELESCOPIO *HUBBLE*

AGOSTO 1992
600 PTAS.

Los espacios en gris
corresponden a publicidad
en la edición impresa



Agosto de 1992 Número 191



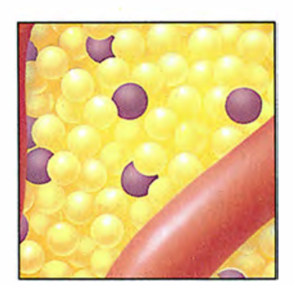
6



Los activos ambientales en la contabilidad nacional
Robert Repetto

Cuando, al evaluar el comportamiento económico de las naciones, los gobiernos no rinden cuentas de la merma de bosques, pesquerías, recursos mineros y agua, los balances hablan erróneamente de crecimiento y prosperidad. El ejemplo de Costa Rica sirve de espejo donde mirarse esa política suicida.

14



Lipoproteína(a) en la enfermedad cardiaca
Richard M. Lawn

A veces sufren cardiopatías los individuos menos propensos en teoría, es decir, los que presentan niveles bajos de colesterol, no fuman ni han acumulado grasas. La culpable podría ser la lipoproteína(a), partícula de la sangre que, por ironía de la naturaleza, se encarga de reforzar los vasos debilitados.

22



El códice Mendoza
Patricia Rieff Anawalt y Frances F. Berdan

Para informar a Carlos V de la vida de sus remotos vasallos, el virrey solicitó, a los últimos artistas que habían conocido el México anterior a Cortés, que resumieran los usos de su ya evanescente civilización. Terminado el códice en 1541, nunca llegó a España. Lo robaron los franceses y se lo vendieron a los ingleses.

54



El galeón español
Francisco Fernández González

La historia del galeón español está todavía por escribir, así como la descripción de las transformaciones a que hubo de someterse esa nao armada. Durante casi dos siglos, los barcos que constituyeron la guardia de la Carrera de las Indias y de la armada española representaron la eficacia de nuestra ingeniería naval.

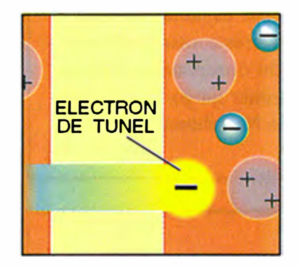
64



Cultivos transgénicos
Charles S. Gasser y Robert T. Fraley

La ingeniería genética ha dado un giro decisivo a la práctica milenaria de la mejora vegetal. En más de 50 especies se han introducido genes que aportan resistencia contra las enfermedades y plagas, redoblan la tolerancia de herbicidas y retrasan el envejecimiento, en beneficio de las cualidades nutritivas.

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

72 

Control del movimiento individual de los electrones
Konstantin K. Likharev y Tord Claeson

El proceso de miniaturización que marca los hitos de la ingeniería electrónica acaba de alcanzar una cota difícilmente superable: la creación de dispositivos que se fundamentan en el movimiento de un solo electrón, lo que permite albergar hasta diez mil millones de unidades por centímetro cuadrado.

80 

El control de la rabia en los animales salvajes
William G. Winkler y Konrad Bögel

Los mamíferos salvajes constituyen un reservorio importante de virus de la rabia, del que mueren, al año, 25.000 personas. Los países más afectados son los del Tercer Mundo. La solución podría hallarse en los cebos rellenos de vacuna, mediante los cuales se está controlando la rabia del zorro en Europa.

88 

Primeros resultados del telescopio espacial Hubble
Eric J. Chaisson

Pese a la deformación de su espejo primario y la inestabilidad de sus paneles solares, el Hubble iguala la sensibilidad de los mejores telescopios instalados en tierra y supera la resolución alcanzada por éstos. Durante sus dos primeros años de funcionamiento ha ofrecido un flujo de imágenes espectaculares.

SECCIONES

5 **Hace...**

34 **Perfiles**

36 

Ciencia y sociedad

Tierra redonda pero tripartita.

52 **De cerca**

98 **Ciencia y empresa**

102 

Juegos matemáticos

El misterio del camello fantasma.

106 **Libros**

112 **Apuntes**

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Joandomènec Ros: *Los activos ambientales en la contabilidad nacional;* Esteban Santiago: *Lipoproteína(a) en la enfermedad cardiaca*; Manuel Ballesteros: *El códice Mendoza;* Santiago Torres: *Cultivos transgénicos*; Amando García: *Control del movimiento individual de los electrones;* Mª José Báguena Cervellera: *El control de la rabia en los animales salvajes;* Mónica S. Murphy: *Primeros resultados del telescopio espacial* Hubble*;* J. Vilardell: *Hace...* ; Angel Garcimartín: *Perfiles*; Shigeko Suzuki: *De cerca*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*

Ciencia y sociedad:

José Manuel García de la Mora, Rosario González Riestra y Eduard Farré

Ciencia y empresa:

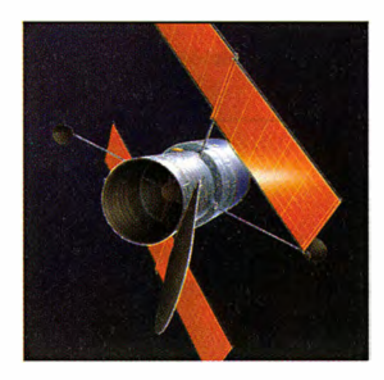
Manuel Puigcerver

Libros:

Luis Alonso, J. E. Martínez Legaz, Laureano Carbonell y J. A. Martínez

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
7	Gary Braasch
8	Jason Küffer
9-10	Johnny Johnson
11	J. Kyle Keener/Matrix
15	Tomo Narashima
16	Science Photo Library, Photo Researchers, Inc.
17	Johnny Johnson (*arriba*), Jason Küffer (*abajo*)
18-19	Jason Küffer
20	Tomo Narashima
23-25	Biblioteca Bodleyana, Universidad de Oxford
26	Bibl. Bodleyana (*izda.*), Akademische Druck-u. Verlagsanstalt, Graz, Austria; Susan Einstein (*fotógrafo*)
27	Joe LeMonnier
28-30	Biblioteca Bodleyana
31	Akademische Druck-u. Verlagsanstalt, Graz, Austria; Susan Einstein (*fotógrafo*)
55	Magda Mària y F. Fernández González (a partir de "Els vaixells de fusta", por D. Guimerà i Mariné; Ketres Editora, S. A.)
56	Museo Naval de Madrid
57	Museo de El Escorial, Madrid
58	Museo de América
59-63	Magda Mària y Fco. Fernández Gonzálex
65	Photography Plus
66	Laurie Grace
67	Bill Santos Photography, cortesía de Calgene, Inc.
68	Laurie Grace
69	Laurie Grace; John C. Sanford, Universidad de Cornell (*fotógrafo*)
73	Lester Lefkowitz
74	Ian Worpole
75	Ian Worpole (*izda., a-d*), Lester Lefkowitz (*dcha., a-d*)
76-77	Ian Worpole
81	Tobey Sanford
82-83	Patricia J. Wynne (*recuadros*) (*arriba*), Hank Iken (*abajo*)
84	Joe LeMonnier
85	Patricia J. Wynne
86	Alan M. Beck, Universidad Purdue
88	David Malin, Observatorio Anglo-Australiano
89	Instituto de Ciencias del Telescopio Espacial
90	Ian Worpole
91	Inst. de Ciencias del Telescopio Espacial
92-93	Inst. de Ciencias del Telescopio Espacial (*arriba*), Ian Worpole (*abajo*)
94-95	Inst. de C. del Telescopio Espacial
102-103	Holton Collection/SUPERSTOCK
104	Ian Worpole



LA PORTADA muestra al telescopio espacial *Hubble* tal y como aparece en su órbita, a 610 kilómetros de la superficie terrestre. La actuación del telescopio se ha visto comprometida por la malformación de su espejo y por numerosos problemas mecánicos. Pero se están superando esos fallos (véase "Primeros resultados del telescopio espacial *Hubble*", por Eric J. Chaisson, en este mismo número). El *Hubble* ha aportado observaciones de un valor científico de primer rango. (Ilustración de la portada de Tomo Narashima)

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
DIRECTOR EDITORIAL José María Valderas Gallardo
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal Garfella
PRODUCCIÓN César Redondo Zayas
M.ª Cruz Iglesias Capón
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Viladomat, 291 6º 1ª - 08029 Barcelona (ESPAÑA)
Teléfonos 321 81 91 - 321 83 48 Telefax 419 47 82

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Viladomat, 291 6º 1ª
08029 Barcelona (España)
Teléfonos 321 81 91 - 321 83 48
Fax 419 47 82

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	6.600	12.000
Extranjero	7.300	13.400

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 600 pesetas
Extraordinario: 775 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

— En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

— El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA
Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Viladomat, 291 6º 1ª - 08029 Barcelona
Teléfonos 321 81 91 - 321 83 48

PUBLICIDAD

Gustavo Martínez Ovín
Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. 409 70 45
Fax 409 70 46



ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 - 76

Fotocomposición: Tecfa. Línea Fotocomposición, S.A. Almogàvers, 189 - 08018 Barcelona
Fotocromos reproducidos por Scan V2, S.A., Pje. Jansana, 8 Bajos - 08902 l'Hospitalet (Barcelona)
Imprime Rotographik, S.A. Ctra. de Caldes, km 3,7 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

Hace...

... cincuenta años

«Silenciosamente, desde el otoño pasado, *Scientific American* ha promovido la organización de varios de sus millares de aficionados a la construcción de telescopios. Un reducido número de esos aventajados artesanos ha demostrado que quienes acostumbran trabajar por amor al arte, o por odio al régimen hitleriano, consiguen unos resultados en óptica de precisión de un grado de dificultad que incluso la mayoría de los profesionales consideran casi insuperable y que algunos de ellos encuentran más prudente no abordar.»

«Nada tengo en contra (antes bien, merecen mi alabanza) de quienes, por patriotismo, no quieren emplear sus automóviles. Tampoco haré disquisiciones acerca de los posibles ahorros en gasolina y petróleo que supone retirar vehículos de la circulación. Pero una cosa es economizar y otra desperdiciar. Las personas que piensen guardar sus automóviles para ahorrar neumáticos, mientras dure la guerra, conviene que conozcan su deterioro por falta de uso. Esto se debe a que el rodar del vehículo flexiona el caucho y lo mantiene en buena forma. La luz, incluso la artificial, perjudica a las cubiertas almacenadas. Hay que tapar todas las ventanas del recinto donde se guarde el vehículo y éste hay que calzarlo sobre polines para descargar de su peso a las ruedas.»

«Es evidente que la nebulosa del Cangrejo se expande en todas las direcciones, y a velocidad muy rápida en términos astronómicos. Interpolando hacia atrás el movimiento, lo mismo en el tiempo que en el espacio, parece que todas las porciones de la nebulosa partieron casi a la vez de un mismo foco hace unos 800 años. Documentos chinos registran la aparición de una "estrella huésped" a la derecha de Tauro en el año 1054 de nuestra era. De ello hace casi 900 años, pero eso no supone forzar demasiado las observaciones del borroso movimiento de las condensaciones nebulares para hacerlas casar con este movimiento más lento.»

«En un informe que presenta en *The Journal of the Institution of Engineers*, Alan Price afirma que es errónea la idea de que la ondulación de las carreteras se deba al rozamiento de las ruedas de los vehículos. Señala el autor que, si así fuera, las ondulaciones aparecerían sólo junto a las rodadas, mientras que ocupan, por contra, todo el ancho de las calzadas, y así postula que son consecuencia directa de corrientes de aire provocadas por el movimiento de los vehículos. Price cita observaciones y experimentos que muestran que esas corrientes de aire poseen unas longitudes de onda que posiblemente creen "abultamiento" u ondulaciones perpendicularmente a la dirección del flujo; en el caso de las carreteras, empero, esas ondulaciones no se producen exactamente en sentido normal al eje longitudinal, sino que se extienden levemente hacia adelante de izquierda a derecha. La causa de este último fenómeno reside en que la corriente de aire no corre paralela al eje longitudinal, ya que el peralte de la vía determina que la corriente siga la línea de mínima resistencia.»

... cien años

«La ciencia francesa tiene que enfrentarse a un problema peculiar, como el de evitar la despoblación del país, la cual progresa ahora con tal rapidez que las muertes exceden a los nacimientos en casi 40.000 al año. Ante el fracaso de un aumento de la tasa de natalidad, se ha depositado ahora la esperanza en rebajar la tasa de mortandad. En una reciente reunión de la neonata Sociedad para la Protección de la Infancia, el doctor Rochard afirmó que anualmente mueren 250.000 niños, de los que al menos podrían salvarse 100.000 con los cuidados adecuados. Se han aprobado ya unas leyes muy severas que pretenden evitar tan enorme despilfarro de vidas. Ahora es ilegal dar alimentos sólidos a los menores de un año, salvo prescripción médica, y se prohíbe que las niñeras empleen biberones con tubos de goma. Asimismo se realizan esfuerzos para animar a las madres de París a que amamanten a sus hijos.»



Detector de minerales eléctrico.

«En la figura que se adjunta se ilustra un aparato para detectar la presencia de metales. La bobina de inducción se compone de un primario de hilo grueso conectado a un cortacircuitos automático rápido y una batería. El secundario es de hilo fino y forma un ángulo recto con el arrollamiento grueso. Al secundario está conectado un teléfono. Si el primario es interrumpido continua y rápidamente, mientras no haya un material magnético en la proximidad de la bobina, por el teléfono no se oye nada, dado que las influencias inductivas son todas iguales y opuestas; pero cuando la bobina se coloca en las cercanías de un metal o mineral magnético, se perturba el equilibrio y el sonido se oye por el teléfono.»

«Se dice que en Suramérica hay por lo menos dos familias de abejas sin aguijón, pero no valen mucho como productoras de miel; además, construyen unos panales con unas celdillas de paredes muy gruesas y probablemente no valdría la pena cultivarlas comparadas con las razas europeas, asiáticas y africanas. Pero si pudiéramos cruzar nuestras abejas con las abejas gigantes de la India y obtener una familia de trompa larga y acaso de mayor tamaño (comprobado que ello entrañara alguna ventaja), cruzaríamos ésta con las suramericanas sin aguijón para lograr una variedad de abejas dificilmente superable.»

Los activos ambientales en la contabilidad nacional

La tala de los bosques, la erosión del suelo, la contaminación de acuíferos, la caza y la pesca hasta la extinción no significan, para ningún país, una merma oficial de la renta. El empobrecimiento se toma por progreso

Robert Repetto

Con frecuencia se percibe el desconcierto y desánimo de los naturalistas cuando los expertos en economía menosprecian la gravedad de la degradación ambiental. Una razón de esta ostensible indiferencia es que ni el esquema contable que manejan los economistas, ni los modelos en él basados, asignan valor económico alguno a las alteraciones en las reservas de recursos naturales. Este instrumento básico de medición ha de recalibrarse para que los políticos reconozcan la perturbación global de los sistemas naturales, y pueda exigírseles responsabilidad de la misma.

Este esquema, ya con 50 años de antigüedad y estandarizado en el Sistema de Contabilidad Nacional (System of National Accounts, SNA) de las Naciones Unidas, prescinde en absoluto de las decisivas transformaciones que sufre nuestro medio: la notoria degradación de los recursos naturales en gran parte de los países en vías de desarrollo y las crecientes presiones sobre los sistemas globales que sostienen la vida, como el clima y la diversidad biológica. Esas alteraciones pueden configurar el desarrollo futuro de la economía mundial. Por consiguiente, si no se sabe reconocer como bienes económicos estos recursos naturales, el marco contable en el que se inscriben las principales herramientas del análisis económico falsea las opciones políticas a las que se enfrentan las naciones.

ROBERT REPETTO dirige la investigación sobre la interacción entre economía y ambiente en el Instituto de Recursos Mundiales en Washington, D. C., desde 1983. Anteriormente fue profesor de economía en la facultad de salud pública de la Universidad de Harvard, y miembro de su Instituto de Estudios Demográficos.

Por suerte, al tiempo que un número cada vez mayor de países adoptan las políticas y las instituciones de la economía de mercado, este modelo metodológico ha entrado en revisión, por primera vez en 20 años. La situación ofrece una oportunidad, que no puede desaprovecharse, para corregir un fallo fundamental.

Sean cuales fueren sus limitaciones y aunque resulten de difícil comprensión para el gran público, las cuentas de la renta nacional son indudablemente uno de los inventos sociales más notables del siglo XX. No es casual el que los gobiernos de los principales países, desde que tales patrones de medida existen, se hayan responsabilizado del crecimiento y la estabilidad de sus respectivas economías, y se hayan hecho enormes inversiones de talento y energía para determinar la manera óptima de gestionar sistemas económicos. Difícilmente podría subestimarse su impacto político y económico; en los Estados Unidos cuando el PIB (producto interior bruto, la suma de todos los bienes y servicios producidos en el país) de un trimestre es inferior, siquiera sea marginalmente, al de los tres meses precedentes, se declara una recesión, se impugna la competencia de la Administración y se abren debates públicos. En todo el mundo la tasa de crecimiento del PIB es la medida primordial del progreso económico.

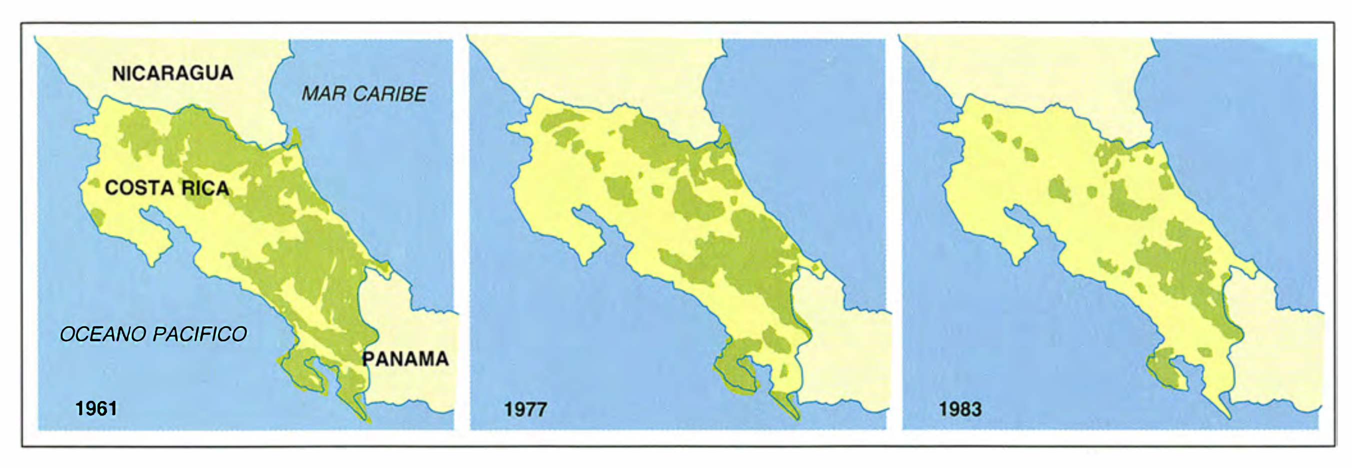
El sistema actual de contabilidad de las naciones refleja el modelo macroeconómico keynesiano que predominaba en la época en que aquél fue desarrollado. Los grandes capítulos que lo caracterizan —consumo, ahorro e inversión— están cuidadosamente definidos y medidos. Sin embargo, la atención de Keynes y sus contemporáneos se hallaba absorbida por la Gran Depresión y el ciclo económico; por encontrarse hundidos en su caída abisal los precios de las mercancías, les preocupaba muy poco la escasez de recursos naturales. Por desgracia, así como el análisis keynesiano ignoraba en su mayor parte el papel productivo de los recursos naturales, lo mismo cabe afirmar del referido sistema de contabilidad nacional.

De hecho, la escasez de los recursos naturales importaba muy poco a la economía neoclásica del siglo XIX, de la que derivan la mayoría de las teorías económicas contemporáneas. En la Europa del siglo XIX los cereales y las materias primas llegaban a raudales desde América, Australia, Rusia y las colonias, al tiempo que los buques de vapor y los ferrocarriles abarataban los costes de transporte. Habían caído en el olvido los pesimistas augurios de Ricardo, Malthus, Marx y varios otros de los primeros economistas clásicos, que predecían el estancamiento o el colapso de las economías industriales debido al aumento de las rentas del suelo y los salarios de subsistencia. Lo que a Inglaterra y a otras naciones en proceso de industrialización les importaba era la tasa de inversión y la velocidad del cambio tecnológico.

Los economistas clásicos habían considerado que la renta era el rendimiento obtenido de tres tipos de bienes: los recursos naturales, los recursos humanos y el capital invertido. Los economistas neoclásicos eliminaron prácticamente de su modelo los recursos naturales y se concentraron en el trabajo y en el capital inverti-

1. HUERTO ATERRAZADO en Costa Rica; muestra todavía los tocones de los árboles forestales talados para desbrozar el terreno. El uso agrícola de las laderas de fuerte pendiente suele ser insostenible por la rápida erosión del suelo.





2. LA DEFORESTACION ha destruido desde 1970 más de la cuarta parte de los bosques que entonces poseía Costa Rica. La pérdida de este activo ha perjudicado su potencial de ingresos, no compensados con el encarecimiento de algunas maderas.

do. Cuando, terminada la segunda guerra mundial, se aplicaron estas teorías a los problemas del desarrollo económico en el Tercer Mundo, se siguió dejando aparte los recursos humanos sobre la base de que el trabajo siempre era "excedentario", con lo que el desarrollo se contemplaba casi exclusivamente en términos de ahorro e inversión en capital físico.

El resultado es que existe una peligrosa asimetría en la medición del valor de los recursos naturales, y, por tanto, en el modo en que los economistas piensan sobre ellos. Las construcciones, los equipos y otros bienes manufacturados se consideran capital productor de renta, y su depreciación se contabiliza como un cargo contra el valor de la producción; tal práctica reconoce que el consumo no puede mantenerse indefinidamente tirando de las reservas de capital sin reponerlas. Sin embargo, los activos de recursos naturales no se valoran del mismo modo: su pérdida, aunque pueda dar lugar a una reducción apreciable de la producción futura, no implica cargo alguno contra la renta actual.

Aunque el modelo de balance de situación del SNA de las Naciones Unidas —que en realidad pocos países compilan— reconoce que la tierra arable, los minerales y la madera son activos económicos que han de incluirse en las existencias de capital de una nación, no lo hacen así las cuentas de renta y producto de la SNA. Este enfoque carece esencialmente de coherencia, pues lo lógico sería que, si los balances de un país en dos momentos diferentes indican la caída de un bien (por ejemplo, un bosque), las cuentas de renta y producto correspondientes a los años intermedios mostraran un cargo por la depreciación. Ello se desprende de la identidad quizás más fundamental de la contabilidad: la diferencia de existencias entre dos puntos temporales iguala al flujo neto en el período comprendido. Por ejemplo, la diferencia entre el activo neto de una persona al principio y al final de un año es igual a sus ahorros (o dispendios) netos durante ese año.

El Sistema de Contabilidad Nacional de las Naciones Unidas viola esta identidad básica en lo que atañe a los activos de recursos naturales. Resulta irónico que se instruya a los países de baja renta —por lo general muy dependientes de los recursos naturales para el empleo, las rentas públicas y los ingresos por cambio exterior— en el uso de un sistema de contabilidad nacional que prescinde casi por completo de sus principales bienes.

Tras esta anomalía se esconde la errónea suposición de que los recursos naturales son tan abundantes que no poseen valor marginal. Muy al contrario, se coticen directamente o no en el mercado, dichos recursos contribuyen de un modo muy notable a la productividad económica a largo plazo. Otra equivocación consiste en considerar los recursos naturales como "regalos de la naturaleza", por lo que no existen costos de inversión a amortizar *per se*. Pero el valor de un bien no es su coste de inversión, sino el valor actual de su potencial de renta. Las fórmulas al uso para calcular la depreciación mediante la amortización de los costes de inversión no pasan de ser meras reglas empíricas convenientes. La verdadera medida de la depreciación es el valor capitalizado actual de la reducción de la renta que en el futuro va a obtenerse de un bien debido a su degradación u obsolescencia. Del mismo modo en que una máquina se deprecia a medida que se desgasta, los suelos se deprecian a medida que su fertilidad disminuye, puesto que sólo a un coste superior pueden producir el mismo rendimiento agrícola.

Este sesgo contra los activos de recursos naturales, codificado en el SNA de las Naciones Unidas, ofrece falsas indicaciones a los políticos. Refuerza la ilusión de que existe una dicotomía entre la economía y el ambiente, y de este modo induce a los gobernantes a ignorar o destruir este último en nombre del crecimiento económico. El sesgo confunde el empobrecimiento en bienes valiosos con la generación de renta. De ahí pueden resultar ganancias ilusorias en renta y permanentes pérdidas de riqueza.

No hay nada malo en servirse de los recursos naturales para financiar el crecimiento económico, en especial en los países que dependen de sus recursos. Los ingresos del erario derivados de la extracción de recursos pueden financiar productivas inversiones en tejido industrial, infraestructura y educación, pero toda representación contable de este proceso debe, para ser razonable, reconocer que se ha intercambiado un tipo de activo por otro. Si un agricultor tala sus bosques y vende la madera para reunir el dinero que le cuesta un nuevo granero, su contabilidad privada reflejará la adquisición de un activo productor de renta, el granero, y la pérdida de otro activo, la parcela de bosque. El agricultor cree salir ganando, porque el granero es más valioso para él que la madera. En la contabilidad nacional, sin embargo, la renta y la inversión suben al ser construido el granero, y también crece la renta por haberse cortado madera, no acusando en ningún lugar la pérdida de un activo valioso. Y lo que es todavía peor, si el granjero se gasta el producto de la venta de su madera en unas vacaciones de invierno, a la vuelta será más

pobre y no podrá costearse el granero, pese a lo cual la renta nacional seguirá registrando un beneficio.

La verdadera definición de renta incluye la idea de viabilidad, a semejanza de la definición formulada por la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo (la comisión Brundtland): desarrollo viable (también llamado "sostenible") es aquel que cubre las necesidades de la generación actual sin sacrificar el bienestar del futuro. Este concepto de renta abarca no sólo los beneficios actuales, sino también los cambios en las posiciones de los activos: las ganancias de capital equivalen a un aumento de la renta y las pérdidas de capital a una reducción de la renta.

La experiencia de Costa Rica demuestra cómo puede conducir al desastre económico excluir de la balanza los activos de recursos naturales. Para muchos naturalistas, este país es reputado como el paladín de la conservación en el hemisferio occidental. Ha dedicado la quinta parte de sus tierras a parques nacionales y es sede de programas pioneros en turismo de la naturaleza y restauración ecológica. Sin embargo, durante los últimos veinte años Costa Rica ha sufrido un devastador deterioro de sus recursos naturales.

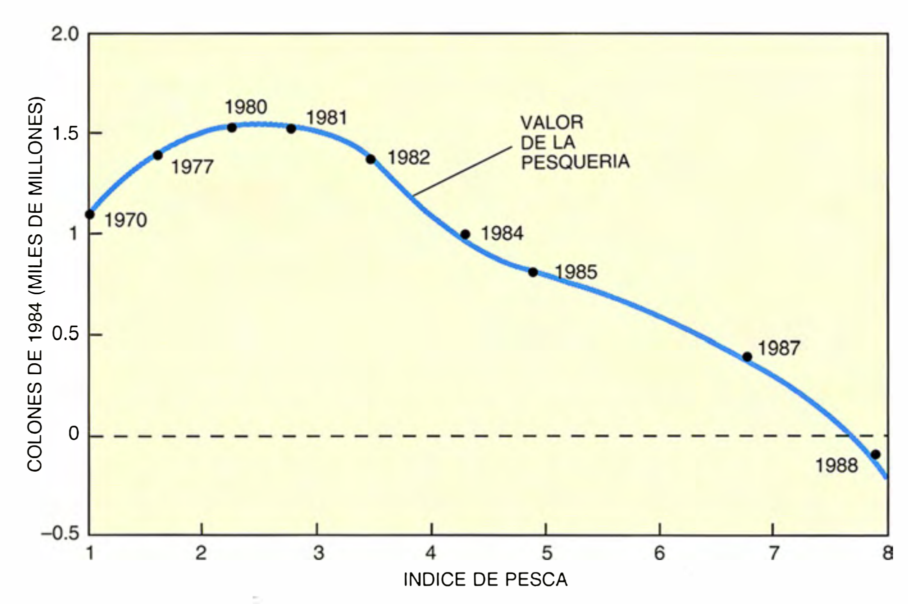
La deforestación, a un ritmo de los más elevados del hemisferio, ha consumido el 30 por ciento de los bosques del país, en su mayoría incendiados con el fin de aclarar el terreno y dedicarlo a pastos de escaso rendimiento y casas de campo en las colinas, sacrificando así valiosas maderas tropicales y una infinidad de especies de plantas, insectos y otros animales. Como casi toda la superficie reconvertida a partir del bosque era inadecuada para la agricultura, su suelo se erosionó en torrentes, ascendiendo las pérdidas a un promedio de más de 300 toneladas por hectárea en las tierras utilizadas para cosechas anuales y cerca de 50 toneladas por hectárea en las destinadas a pastos. Se estima que entre 1970 y 1989 se perdieron por erosión unos 2200 millones de toneladas de suelo, que serían suficientes para enterrar la capital, San José, a una profundidad de 12 metros. Al mismo tiempo, la contaminación de las aguas y la sobreexplotación devastaban los arrecifes de coral y las pesquerías costeras.

Dado que los bosques, las pesquerías, la agricultura y la minería suponen directamente el 17 por ciento de la renta nacional de Costa Rica, el 25 por ciento de su empleo y el 55 por ciento de los ingresos de exportación, esta destrucción causó graves pérdidas económicas. En el año 1989 se destruyeron 3,2 millones de metros cúbicos de maderas comerciales valorados en más de 400 millones de dólares. Esta cantidad, que supone 69 dólares por cada ciudadano de Costa Rica, superó en un 36 por ciento a los pagos por deuda externa. La erosión de suelos cultivables y de pastos arrastró nutrientes por un valor equivalente al 17 por ciento de las cosechas anuales y al 14 por ciento de los productos ganaderos. El deterioro de las poblaciones en la principal pesquería fue tan grave que los ingresos de los pescadores cayeron por debajo del nivel de los subsidios asistenciales pagados a los indigentes. Pese a todo ello, en la contabilidad nacional de Costa Rica no hay registro alguno de estas pérdidas de activos.

Cuando Costa Rica comenzó a tener dificultades económicas a principios de los ochenta, los economistas diagnosticaron el problema como crisis de endeudamiento: los pasivos externos habían aumentado, y atender a esta deuda se hacía cada vez más oneroso. El Fondo Monetario Internacional corrió en su ayuda con programas para estabilizar la base monetaria. Nadie habló de estabilizar la base de recursos naturales, aunque las pérdidas en bienes interiores (bosques, suelos y pesquerías) habían sido mucho mayores que el aumento de pasivos externos y habían privado al país de una renta de exportación a partir de la cual se podrían haber efectuado pagos para atender la deuda. La diferencia era manifiesta: mientras se registraba e inspeccionaba minuciosamente la acumulación de deuda externa, se ocultaba o se hacía caso omiso de la depreciación de los activos de recursos naturales.

Con el fin de obtener una representación fiel de lo que había ocurrido, el Centro de Ciencias Tropicales de Costa Rica y el Instituto de Recursos Mundiales colaboraron para compilar las cuentas de recursos naturales de suelos, bosques y pesquerías del país correspondientes al período de 1970 a 1989. Las estimaciones de los cambios en cobertura forestal, zonas de manglares y otros usos del suelo se basaron en inspecciones periódicas mediante el uso de sensores remotos y toma de imágenes por satélite. A partir de estudios de campo detallados se obtuvieron datos sobre el tipo, volumen, crecimiento y composición de los bosques, y se generaron estimaciones de la erosión del suelo utilizando mapas topográficos, pluviométricos, edáficos y de usos del terreno. La contabilidad de las pesquerías se basó en estudios de muestreo de las poblaciones de peces.

La pérdida más visible de activos de recursos naturales en Costa Rica ha sido la destrucción de sus bosques. Los investigadores contabilizaron la masa forestal basándose en detallados mapas bioclimáticos, edáficos, geológicos y topográficos, a los que superpusieron mapas de usos del suelo que cubrían el período en estudio. Estimaron las proporciones de diversas especies de árboles en cada zona forestada, junto con distri-



3. TRAYECTORIA DE EXPLOTACION: el esfuerzo dedicado a la pesca en Costa Rica ha aumentado (medido por un índice elaborado en el Centro de Ciencias Tropicales), pero los beneficios de la industria se redujeron y terminaron por desaparecer.

buciones de edades, volúmenes de madera y tasas de crecimiento. Los resultados obtenidos son considerablemente más detallados y exactos que los inventarios forestales al uso que se confeccionan con miras a su explotación comercial.

Los analistas examinaron luego los cambios en el uso del suelo para estimar el alcance de la deforestación. Entre 1966 (el año más cercano a 1970 en el que se disponía de datos sobre usos del suelo) y 1989, se perdieron 847.000 hectáreas, equivalentes al 28 % de los bosques de Costa Rica. Las pérdidas mayores las sufrieron los bosques montanos y tropicales húmedos y las selvas tropicales, precisamente los que albergan la mayor diversidad biológica; dos tercios de la deforestación afectaron a zonas ecológicas en las que los usos forestales representaban el más intenso aprovechamiento viable del suelo. Pese al papel dominante de la industria ganadera en la deforestación, sólo el 14 % de la superficie desbrozada era adecuado para pastos.

La contabilidad general relacionó los cambios en los volúmenes forestales con la cosecha y la deforestación anuales, así como con el crecimiento y la regeneración en las áreas forestales restantes. Los valores contables se obtuvieron estimando el valor de madera en pie (valor de mercado de los árboles vivos), que variaba en función de la especie, de la madurez y de la distancia de las serrerías. A lo largo del tiempo, la fracción de las existencias forestales susceptible de comercializarse aumentó de forma sustancial. Los valores de madera en pie en precios constantes han aumentado entre cuatro y diez veces desde 1970, dependiendo de la variedad de madera, lo que demuestra la miopía de esta incalificable destrucción de los bosques.

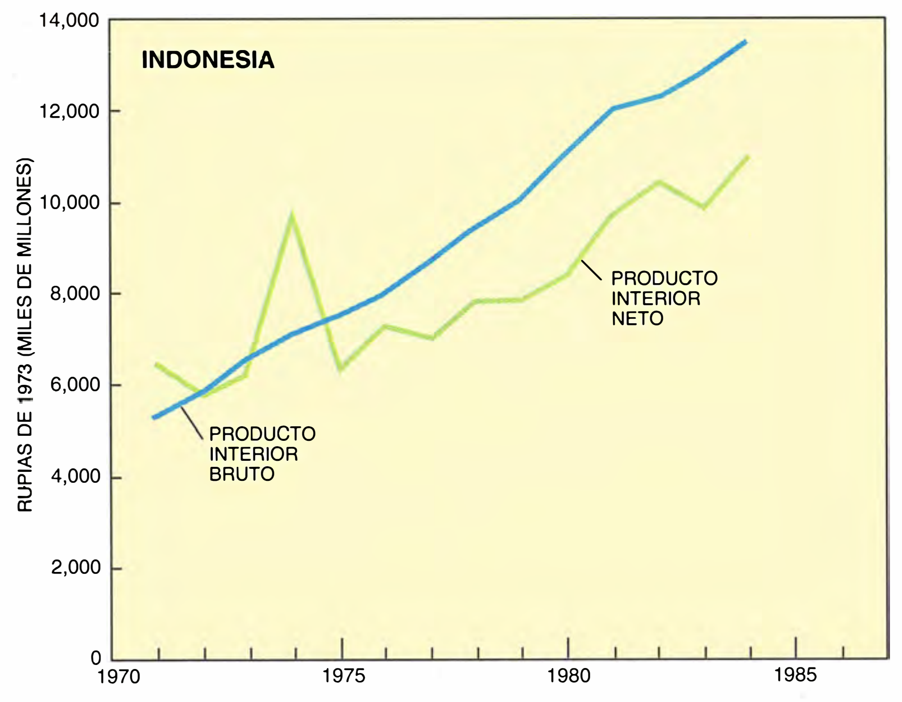
En efecto, pese a haberse reducido en los últimos años la tasa de deforestación, la depreciación de estos activos ha aumentado de forma espectacular, porque ha crecido el valor de los árboles de madera dura que se están destruyendo. El sector forestal generó niveles sustancialmente negativos de renta nacional neta a lo largo de los años ochenta: el valor del capital forestal destruido superó con mucho el valor de los productos forestales generados.

En Costa Rica, gran parte del terreno presenta fuertes pendientes y está sujeto a lluvias intensas; la pérdida de su cubierta forestal conduce rápidamente a la erosión. Las estimaciones de las tasas de erosión del suelo se fundaron en una base empírica bastante similar a la contabilidad forestal: cartografía detallada de la topografía, la geología y los tipos de suelo, las precipitaciones y los usos del terreno. De las cifras obtenidas se restaron las estimaciones de las tasas de erosión que se producirían con el uso más sostenible para cada unidad de suelo. Se obtuvo así un promedio de erosión total de 92 toneladas por hectárea considerando todos los usos del suelo; la erosión insostenible alcanzó un promedio cercano a 300 toneladas por hectárea de tierra sujeta a cultivos anuales. Debido a la reducción de la superficie cubierta por el bosque, la erosión total aumentó desde 122 hasta 189 millones de toneladas por año entre 1970 y 1984.

Las pérdidas monetarias resultantes comprenden tanto la disminución de la productividad agrícola como los daños causados en zonas distantes por el arrastre de cantidades tan enormes de suelo: de estos últimos daños sólo pudieron hacerse estimaciones parciales, basadas en los efectos de la sedimentación sobre los sistemas hidroeléctricos. El coste que origina la erosión edáfica en el proceso productivo agrícola se estimó globalmente tomando como base el coste de reposición de los principales nutrientes vegetales perdidos al desaparecer el mantillo. Este enfoque no es sino una primera aproximación, puesto que la erosión también deteriora la estructura y la actividad biológica del suelo y elimina micronutrientes.

Las cuentas resultantes presentan pérdidas que aumentan aproximadamente en proporción a la superficie cultivada. El mayor porcentaje de la depreciación estimada corresponde a las cosechas anuales, especialmente en terrenos pendientes sometidos a lluvias intensas, pero los pastos, debido a su preponderancia entre los usos del suelo, contribuyen asimismo con un tercio del total. Por otra parte, la depreciación del suelo ocasiona un promedio de cargo del 13 por ciento del valor añadido para la producción ganadera, un 17 por ciento para la recolección anual, y del 8 al 9 por ciento para toda la producción agrícola.

Durante el mismo período en que los bienes forestales y edáficos sufrían graves daños, el valor de la principal pesquería de la nación desaparecía casi por completo. La industria pesquera costarricense es esencialmente artesanal, no está regulada y se sostiene mediante subvenciones al precio del gasóleo y exenciones fiscales. En los años ochenta se multiplicó el número de pequeñas embarcaciones, a medida que se reducían las oportunidades alternativas de empleo en las zonas urbanas y rurales; mientras tanto se han multiplicado las señales evidentes de sobreexplotación: se capturan menos peces de las especies muy valoradas, y la relación entre captura y esfuerzo de pesca disminuye constantemente. Como los recursos pes-



4. EL CRECIMIENTO ECONOMICO resulta exagerado por mediciones que prescinden del valor de los activos de recursos naturales. Al ajustar dicho crecimiento con la depreciación de tales activos (*línea verde*), resulta una imagen diferente.

queros no pueden medirse directamente, se recurrió a estimar los cambios en el valor de la principal pesquería del golfo de Nicoya mediante la elaboración de un modelo bioeconómico que relaciona el rendimiento viable con el esfuerzo de pesca. Los investigadores crearon un índice de actividad pesquera por embarcaciones de distintas clases de potencia y de capacidad, índice que refleja las capturas diarias correspondientes a cada tipo de embarcación.

En este contexto, puede estimarse que el valor de la pesquería es el valor capitalizado del beneficio anual sostenible que es capaz de generar. A medida que el esfuerzo de pesca aumentaba a lo largo de los años ochenta, los beneficios se reducían. Hacia 1988, los pescadores a duras penas recuperaban sus costes directos, incluso suponiendo que su tiempo no valiera más que la pensión de subsistencia concedida a los desempleados, que es sólo una fracción del salario agrícola. En otras palabras, el valor de activo de la pesquería era nulo.

Esos tres apartados de la contabilidad evidencian que Costa Rica ha estado consumiendo su capital natural a un veloz ritmo. Desde 1970 a 1989, la depreciación acumulada del valor de sus bosques, suelos y pesquerías superaba los 4100 millones de dólares en precios de 1984, cifra que rebasa el valor medio del PIB de un año. Comparándola con el volumen de la economía costarricense, esta pérdida anual es enorme: viene a ser como si en los Estados Unidos el presupuesto entero de defensa desapareciera cada año sin dejar rastro.

Y, sin embargo, ésta es sólo una parte de la pérdida realmente sufrida. En cuanto a los bosques, las cifras incluyen sólo la pérdida del valor inmediato y futuro de la madera, pero estas masas forestales también prestan otros servicios importantes —hábitat de vida salvaje, atracción turística, regulación ecosistémica y suministro de otras mercancías distintas de la madera— cuyo valor todavía no se ha estimado. En los suelos, la depreciación únicamente tuvo en cuenta la pérdida causada por la erosión de los principales nutrientes para el crecimiento de las plantas. No se consideraron otros cambios nocivos producto de la erosión, como la pérdida de micronutrientes, de actividad microbiológica y de la estructura edáfica deseable, que también reducen la fertilidad del suelo. Por lo que a las pesquerías se refiere, la contabilidad sólo recoge el valor perdido por sobrepesca de las principales especies en un banco importante.



5. LOS ACTIVOS DE RECURSOS NATURALES adecuadamente gestionados son capaces de generar una renta considerable. Su pérdida (ostensible en esta zona de la pluviselva brasileña) debe reconocerse en los balances de situación nacionales.

Los propios métodos conservadores aquí utilizados demuestran que el rendimiento y las perspectivas de la economía de Costa Rica se han exagerado de forma sustancial. La tasa de formación de capital neto, variable crítica en el crecimiento económico, fue mucho menor de la esperada. La depreciación de los recursos naturales subió desde el 26 % de la formación de capital bruto en 1970 hasta el 37 por ciento en 1989. El esquema contable convencional exageró la formación de capital neto real —formación de capital bruto menos depreciación del capital natural y creado por el hombre— en más del 70 por ciento, en 1989. Un sistema contable tan engañoso aplicado a un proceso económico tan importante como la formación de capital no puede ser de utilidad alguna para el análisis, la planificación o la evaluación de la economía.

La experiencia de otros países en vías de desarrollo para los que se han compilado cuentas de recursos naturales discurre paralela a la de Costa Rica. En Filipinas, por ejemplo, las pérdidas anuales ocasionadas por la deforestación supusieron por término medio el 3,3 por ciento del PIB entre 1970 y 1987. En 1988, las pérdidas en la agricultura sobre tierra firme imputables a la erosión totalizaron aproximadamente el 2,5 por ciento del PIB. Todavía es más importante que el mantillo perdido degradó las cuencas hidrográficas de la nación, reduciendo la producción de las centrales hidroeléctricas y cortando la irrigación de los arrozales de las tierras bajas. Los efectos, una vez identificados, totalizaron cerca del 5 por ciento del PIB. Arrastrado hasta el mar, este mantillo dañó los arrecifes de coral que sustentan las pequeñas pesquerías. Toda esta contaminación, unida a la excesiva pesca, eliminó todos los beneficios ya en 1984. Si bien las cuentas de la nación indicaron una deuda externa creciente, no dieron señal alguna de la destrucción de capacidad productiva que hacía cada vez más improbable el pago de esta deuda.

Las cuentas de recursos naturales de Indonesia muestran que entre 1977 y 1984 el empobrecimiento de los mismos equivalió al 19 % del PIB. Como ejemplo, la depreciación anual de la fertilidad del suelo (un 4 por ciento) es aproximadamente igual al aumento anual de producción agrícola, dando a entender que los actuales aumentos de productividad de las granjas de las tierras altas del país se consiguen casi enteramente a expensas de la producción futura. Una vez más, los métodos contables tradicionales no dan señal alguna de este peligro inminente.

Cada vez son más los países dependientes de sus recursos que van reconociendo la inadecuación del sis-

tema de contabilidad nacional actual. En México, El Salvador, Bolivia, Brasil, Chile, Filipinas, Indonesia, China, Malasia, la India y posiblemente otras naciones en vías de desarrollo, se ha comenzado a anotar las magnitudes relativas a los recursos naturales siguiendo las mismas pautas que en Costa Rica. En ciertos países las oficinas de estadística o ambientales oficiales participan estrechamente en esta labor. Los economistas están asimismo elaborando sistemas contables de este tipo en Noruega, Canadá, Australia, Francia, Alemania, Países Bajos y Estados Unidos.

Repetidas veces, los dirigentes mundiales han subrayado la importancia de conseguir un sistema contable que integre los valores económicos y los ambientales. Además, el Congreso de EE.UU. ha dado instrucciones a los delegados de la nación en las Naciones Unidas y en los bancos de desarrollo multilaterales, para que insistan en que todos los cambios se verifiquen en el sistema normalizado de contabilidad nacional; asimismo ha pedido a la Agencia de los EE.UU. para el Desarrollo Internacional que apoye los trabajos de los distintos países para inventariar y tasar su recursos naturales.

En el punto focal de estos programas de trabajo se encuentran la Comisión Estadística y la Oficina Estadística de las Naciones Unidas, involucradas ambas en el proceso de revisión del Sistema normalizado de Contabilidad Nacional de las Naciones Unidas. Por añadidura, países hasta hace poco socialistas y otros como Estados Unidos, comienzan a armonizar su sistema nacional de contabilidad con el SNA.

No obstante, las autoridades estadísticas de las Naciones Unidas han adoptado una actitud equívoca con respecto al problema de la contabilidad de los recursos naturales. Se han negado a corregir la falta de coherencia que existe en el tratamiento de los recursos naturales por el SNA y se han limitado, por contra, a desarrollar directrices que puedan utilizar los países para calcular los recursos naturales como complemento a las definiciones oficiales.

Es dudoso que tan ambigua posición sirva de algo: estas cuentas accesorias, en el caso de que se compilen, no atraerán la atención del público y de los políticos al mismo nivel que los cálculos del PIB, la renta y la inversión nacional. Con todas sus distorsiones y contradicciones, dichos parámetros continuarán siendo los principales patrones para la evaluación y el análisis del comportamiento económico. Además, dado que las oficinas estadísticas de todo el mundo adolecen de una carencia de fondos crónica, no es probable que tomen a su cargo la tarea de elaborar cuentas de recursos naturales de un modo regular hasta que éstas lleguen a formar parte del sistema básico.

Las autoridades estadísticas de las Naciones Unidas no debieran perder la oportunidad que ahora se les brinda de introducir cambios necesitados ya hace largo tiempo. Por descontado que la Conferencia de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Río de Janeiro en el pasado mes de junio, ha sido una ocasión ideal de anunciar unos plazos definidos para tales cambios. La labor realizada en Costa Rica y otras naciones ha demostrado que se pueden elaborar a un coste moderado contabilidades realistas que cubran los principales recursos de un país, utilizando únicamente los datos ahora disponibles. Estos países han comprobado, asimismo, que tales cuentas alteran de forma drástica la evaluación del comportamiento económico en países dependientes de sus recursos, con lo que proporcionan un aviso previo, absolutamente necesario, tanto de las pérdidas ecológicas como de las económicas.

Para completar este cambio, debería bastar con un plazo de tres años. Es difícil creer que países que durante 50 años o más han trabajado bajo sistemas marxistas-leninistas puedan convertir sus economías al capitalismo en menos tiempo del que requieren las Naciones Unidas para modificar la definición de depreciación del capital. La citada CNUMAD se ha enfrentado al grave reto de conseguir resultados tangibles que beneficien al ambiente mundial: uno de ellos que está a nuestro alcance y que a largo plazo tendrá una enorme repercusión es la corrección del sistema de contabilidad nacional.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

ENVIRONMENTAL ACCOUNTING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: A UNEP-WORLD BANK SYMPOSIUM. Editado por Yusuf Ahmad, Salah El Serafy y Ernst Lutz. Banco Mundial. 1989

WASTING ASSETS: NATURAL RESOURCES IN THE NATIONAL INCOME ACCOUNTS. R. Repetto *et al.* World Resources Institute. 1989

NATIONAL ACCOUNTS AND ENVIRONMENTAL RESOURCES. Karl Göran Mäler en *Environmental and Resource Economics*, vol. 1, n.º 1. Kluwer. 1991

Lipoproteína(a) en la enfermedad cardiaca

Una curiosa proteína, transportadora de colesterol y con afinidad de unión por los coágulos de sangre, puede aumentar el riesgo de ataque cardiaco. ¿Cuál es el secreto de su acción?

Richard M. Lawn

La enfermedad coronaria es la causa principal de muerte en los países industrializados de Occidente. A su vez, la mayoría de los casos de enfermedad coronaria dependen de una enfermedad más fundamental aún: la aterosclerosis, o acumulación de depósitos grasos en las paredes de las arterias. El crecimiento de estos depósitos o placas ateroscleróticas provoca la formación de coágulos que impiden el flujo sanguíneo. Si un coágulo llega a ocluir una de las estrechas arterias coronarias que riegan el corazón, se produce un infarto de miocardio, o ataque de corazón.

Se conocen ya algunas de las causas de la aterosclerosis y de la enfermedad coronaria. La presión sanguínea elevada, la diabetes, el hábito de fumar y otros factores parecen aumentar la probabilidad de una enfermedad coronaria prematura. Las dietas ricas en colesterol y en grasas saturadas contribuyen a la elevación de los niveles de lípidos en la sangre y a la progresión de la aterosclerosis. La constitución genética de un individuo desempeña también cierto papel: algunas personas pueden ingerir cantidades enormes de grasa en su dieta durante períodos prolongados sin que se produzca una elevación del colesterol de la sangre, abundan quienes, con valores de colesterol extraordinariamente elevados, jamás padecerán de enfermedad coronaria y, por último, sí pueden sufrirla aquellos que, por su perfil de riesgo, los médicos considerarían "a salvo".

El descubrimiento reciente de una partícula de la sangre que explica ese riesgo hasta ahora indeterminado ha despertado un enorme interés. Nos referimos a la lipoproteína(a), amalgama de proteínas, colesterol y otros lípidos que menudea en la sangre de muchas personas cuya vulnerabilidad a la enfermedad cardiaca no podía atribuirse a otras causas obvias. Los cambios dietéticos y la aplicación de otras medidas que rebajan el nivel de la mayoría de los factores de riesgo no afectan, sin embargo, a los niveles de lipoproteína(a). La verdad es que seguimos ignorando la manera como la lipoproteína(a) contribuye a la aparición de la enfermedad cardiaca. Los resultados provisionales a que ha llegado la investigación genética y bioquímica sugieren que, en parte, la aterosclerosis y los ataques de corazón pueden ser efectos colaterales de la presumible implicación de la partícula en la reparación de los vasos sanguíneos gastados.

RICHARD M. LAWN es profesor de medicina cardiovascular en la Universidad de Stanford. Tras formarse en astronomía en Harvard, el interés por la biología molecular le llevó a defender la tesis doctoral en esta última materia en la Universidad de Colorado. Durante el periodo de especialización posdoctoral en el Instituto de Tecnología de California, formó parte del equipo investigador que construyó la primera biblioteca clonada del genoma humano (genoteca) y aisló la familia del gen de la globina. A él se debe también la clonación y expresión de numerosos genes implicados en la coagulación de la sangre y en la aterosclerosis, incluidos el Factor VIII antihemofílico y la apolipoproteína(a).

El propio sistema del organismo responsable de la incorporación, síntesis y distribución de los lípidos nos ofrece una clave para comprender la lipoproteína(a) y la aterosclerosis. Las sustancias grasas sin carga electrostática tienden a ser insolubles en los líquidos acuosos, como la sangre. El organismo supera este inconveniente gracias a un conjunto de partículas que encierran el colestrol y otros lípidos, recubriéndolos con grupos moleculares cargados, para facilitar su transporte. Estas partículas, o lipoproteínas, están constituidas por moléculas lipídicas sin carga y otras parecidas a las de los detergentes, así como por un componente proteínico integrado por las apolipoproteínas.

En la sangre humana la partícula más significativa es la lipoproteína de baja densidad (LDL por *low density lipoprotein*). Consta de unas 2000 moléculas de colesterol, 1000 moléculas de fosfolípidos y una proteína de gran tamaño, situada en su superficie, la apolipoproteína B-100. Se ha comprobado que los niveles elevados de LDL representan un riesgo de enfermedad coronaria; se trata de lo que familiarmente se conoce por "colesterol malo". En contraposición, el así denominado "colesterol bueno" es el de las proteínas de alta densidad (HDL por *high density lipoprotein*), cuyos niveles elevados guardan una relación inversa con el riesgo de enfermedad coronaria.

A pesar del estigma que lleva sobre ella, la LDL desempeña un papel vital en el transporte de colesterol en el organismo. El colesterol es un componente esencial de todas las membranas celulares. Las glándulas suprarrenales y las gónadas lo utilizan para sintetizar hormonas esteroideas, como la testosterona. Para obtener el colesterol, las células captan LDL de la sangre a través de los receptores de LDL, que ligan la apolipoproteína B-100 de la superficie de la lipoproteína.

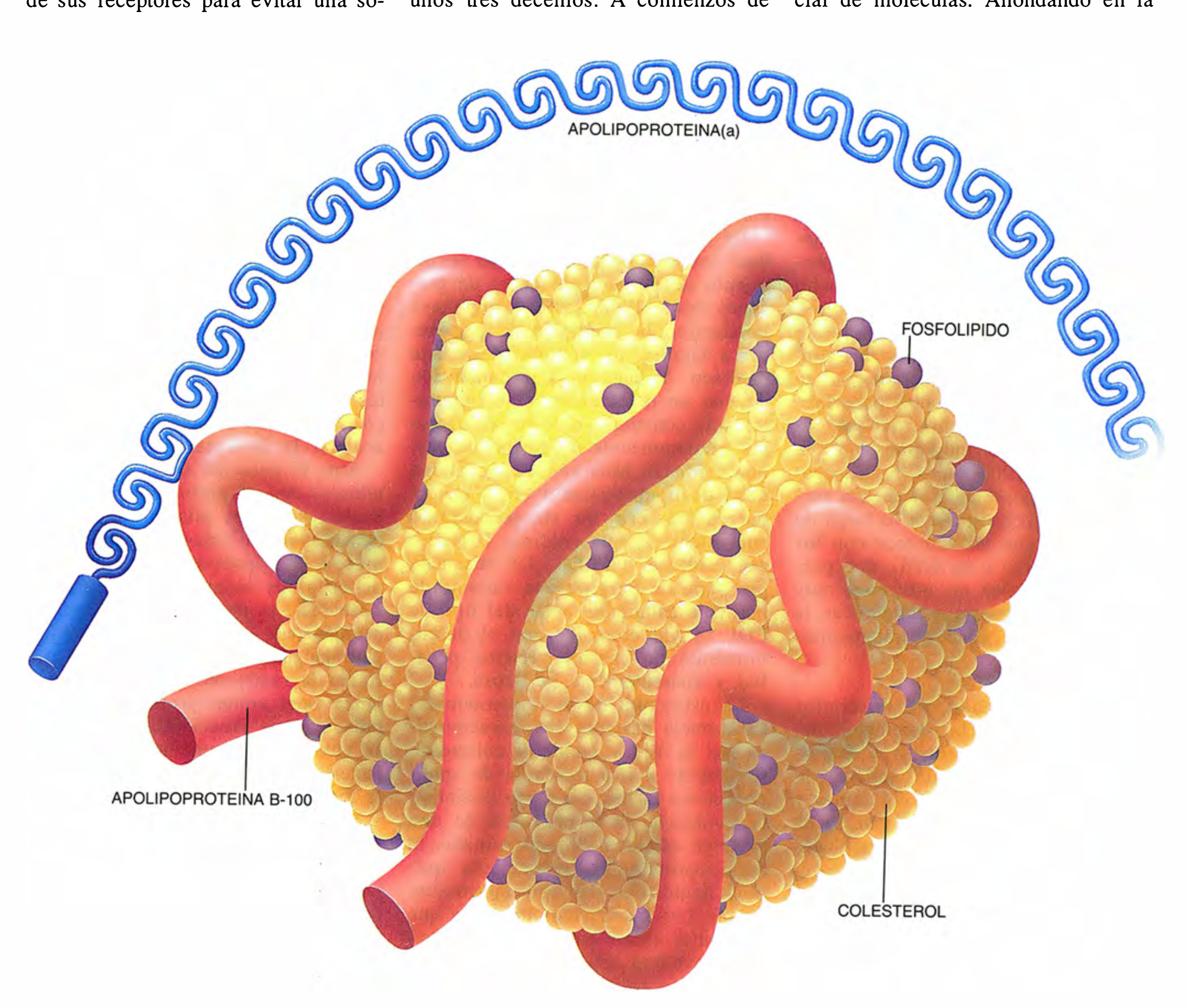
Michael S. Brown y Joseph L. Goldstein, del centro de ciencias de la salud de la Universidad de Texas en Dallas, recibieron en 1985 el premio Nobel por su trabajo sobre el metabolismo de LDL [veáse "La in-

fluencia de los receptores de LDL sobre el colesterol y la aterosclerosis" por Michael S. Brown y Joseph L. Goldstein; INVESTIGACION Y CIENCIA, enero de 1985]. Vieron que un defecto genético que afectaba a los receptores de LDL (y que se da en una de cada 500 personas) determinaba unos valores elevados de colesterol en sangre y consolidaba el riesgo de enfermedad coronaria. Observaron que una dieta rica en colesterol y en grasas saturadas podía simular este defecto en personas genéticamente normales: una dieta de ese tipo representa una señal para que el organismo reduzca su producción de receptores de LDL.

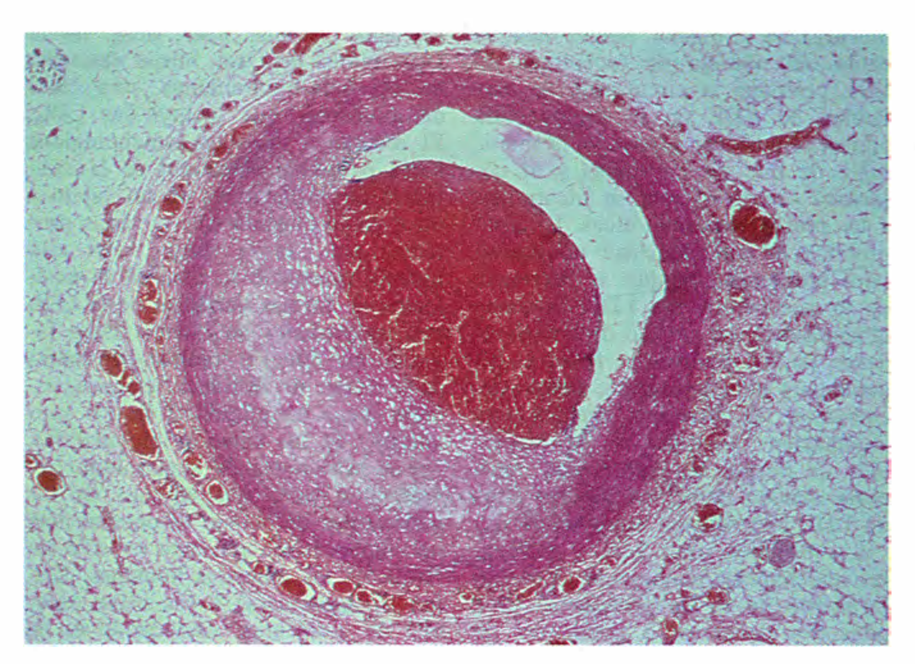
Semejante respuesta bioquímica parece coherente, pues las células bañadas en una concentración alta de colesterol deben reducir el número de sus receptores para evitar una sobrecarga de la misma. Ahora bien, la caída del número de receptores de LDL prolonga la circulación de partículas de LDL en la sangre, una consecuencia que abona la probabilidad de que las partículas y el colesterol que contienen se incorporen a las placas ateroscleróticas. La lipoproteína de alta densidad no genera tales problemas, porque, a diferencia de lo que ocurre con LDL, favorece el transporte del exceso de colesterol desde puntos periféricos hasta el hígado para su eliminación. Estos mecanismos tan diversos ofrecen una explicación razonable de la asociación de riesgos de enfermedad coronaria cuando coinciden niveles altos de LDL con niveles bajos de HDL.

Los estudios sobre LDL y moléculas relacionadas condujeron al descubrimiento de la lipoproteína(a) hace unos tres decenios. A comienzos de los años sesenta, Kåre Berg, de la Universidad de Oslo, buscó variantes de las beta-lipoproteínas, una clase de moléculas que incluye las LDL. El recurso a métodos inmunológicos había permitido percatarse de la existencia de variaciones, de un sujeto a otro, en lo concerniente a varias proteínas más de la sangre. Por ello parecía razonable la idea de la existencia de formas variantes de la LDL con propiedades de interés. Berg inyectó en conejos beta-lipoproteínas procedentes de distintas personas; estudió luego las afinidades de los anticuerpos de los conejos inmunizados.

Las reacciones de seguimiento revelaron a Berg que algunos de los anticuerpos de conejo reconocían una beta-lipoproteína presente en sólo un tercio de las muestras humanas. Llamó lipoproteína(a) a esa clase especial de moléculas. Ahondando en la



1. LA LIPOPROTEINA(a) es una partícula de la sangre que, cuando se da en cantidades elevadas, aumenta el riesgo de enfermedad coronaria. La fracción constituida por fosfolípidos, colesterol y apolipoproteína B-100 es idéntica a la lipoproteína de baja de densidad que transporta colesterol. El componente restante es la apolipoproteína(a), que está enlazada con la apolipoproteína B-100 en un solo punto y confiere a la partícula sus propiedades características.



2. LA PLACA ATEROSCLEROTICA ocluye casi por completo esta arteria coronaria. Los coágulos asociados a tales placas pueden provocar un ataque cardiaco. La lipoproteína(a), que a menudo se deposita en esas placas, favorece la aterosclerosis.

cuestión, se manifestó que la lipoproteína(a) constituía un carácter heredable. Más tarde, Berg y Costa Dahlén, del Hospital Central de Boden, demostrarían que la incidencia de ataques cardiacos en los individuos portadores de lipoproteína(a) era mucho mayor que en una población control.

Facilitado por el refinamiento de los métodos de medición de las concentraciones de lipoproteína(a), se comprobó que casi todos poseemos algo de lipoproteína(a), aunque las variaciones entre individuos pueden ser de hasta 1000 veces. La concentración de lipoproteína(a) de una persona permanece estable a lo largo de su vida, lo que no acontece con los niveles de LDL y de HDL, que pueden variar dentro de márgenes muy amplios en respuesta a cambios en la dieta, ejercicio, edad o tratamientos medicamentosos.

Se ha confirmado, en reiterados experimentos, la correlación positiva entre lipoproteína(a) y aterosclerosis. Por medio de anticuerpos marcados con sustancias colorantes y técnicas de extracción química, se ha detectado lipoproteína(a) en placas ateroscleróticas. Otros muchos estudios han demostrado también que los niveles elevados de la proteína van asociados con ataques cardiacos, apoplejías, estrechamiento de las arterias y reestenosis de vasos después de haber establecido quirúrgicamente un puente coronario. En opinión de algunos expertos, la cuarta parte de los ataques cardiacos que se producen en personas de menos de 60 años corresponderían a individuos portadores congénitamente de una concentración elevada de lipoproteína(a).

En el marco del Estudio Framingham sobre el corazón, con un seguimiento de la salud de miles de personas desde 1948, los investigadores ponderaron la condición de pertenecer a familias de víctimas de ataque cardiaco. Y llegaron a la conclusión de que un nivel elevado de lipoproteína(a) constituía uno de los factores predominantes de riesgo de ataque cardiaco. Más aún, una cantidad dada de lipoproteína(a) en la sangre parece conferir un riesgo añadido equivalente al que confiere 10 veces esa cantidad de LDL. La búsqueda por parte de Berg de una variante de partícula asimilable a las del tipo de LDL se vio coronada con el descubrimiento de una lipoproteína peculiar y aparentemente peligrosa.

La estructura de la lipoproteína(a) se asemeja bastante a la característica de la LDL: contiene colesterol, fosfolípido y una molécula de apolipoproteína B-100. Su rasgo distintivo se evidencia en la presencia de una proteína adicional de gran tamaño, la apolipoproteína(a), relacionada químicamente con la apolipoproteína B-100. Los tratamientos químicos que rompen el enlace entre las dos proteínas engendran una apolipoproteína(a) libre y una partícula que se comporta como LDL. La apolipoproteína(a) es, por tanto, el componente esencial que confiere propiedades especiales a la partícula de lipoproteína(a).

En 1987 y en colaboración con el laboratorio de Angelo Scanu de la Universidad de Chicago, mi grupo de Genentech clonaba el gen de la apolipoproteína(a) humana. Determinamos su secuencia de ADN y, traduciéndola con el código genético, dedujimos la secuencia aminoacídica de la proteína. Para nuestra fortuna, buena parte de la secuencia de aminoácidos resultó ser casi idéntica a la de una proteína de propiedades conocidas: alrededor del 80 % de los aminoácidos de la apolipoproteína(a) coincidían con los del plasminógeno.

El plasminógeno es el precursor de una proteinasa de la sangre, una enzima que rompe enlaces de otras proteínas. Su objetivo específico es la fibrina, el componente proteínico principal del coágulo sanguíneo. No siendo el plasminógeno, de suyo, una proteinasa activa, puede circular por la sangre sin destruir cuantos coágulos le salgan al paso. En condiciones adecuadas, así las que concurren en las heridas cicatrizantes, las enzimas activadoras del plasminógeno alteran parte de la molécula de éste para que proceda a escindir la fibrina.

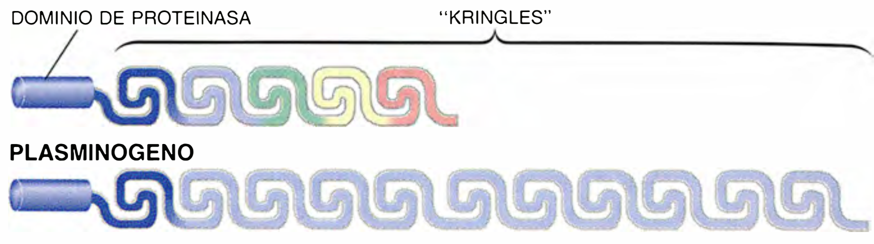
La presencia o ausencia de plasminógeno en un coágulo sanguíneo unido a una placa aterosclerótica pueden marcar la diferencia entre una reparación benigna de un vaso alterado y un ataque cardiaco en toda regla. Porque el plasminógeno es esencial en el proceso de cicatrización, los médicos perfunden, en los pacientes que han sufrido un ataque cardiaco, activadores del plasminógeno para acelerar la destrucción de coágulos.

Ante el parecido de la apolipoproteína(a) con el plasminógeno, se especuló sobre la posibilidad de que constituyera el buscado eslabón entre niveles de lipoproteína e incidencia de coágulos sanguíneos. Y sin pensarlo más, se empezó a comparar las propiedades de apolipoproteína(a) y plasminógeno con la esperanza de averiguar la razón de la estrecha semejanza entre ambas proteínas, y, comprendida esta coincidencia estructural, se viera su intervención en el desencadenamiento de la aterosclerosis y la enfermedad coronaria.

La semejanza entre apolipoproteína(a) y plasminógeno es expresión de la economía evolutiva de las proteínas. De ordinario, el diseño de proteínas nuevas, útiles para el organismo, no parte de cero ni resulta de un ensamblamiento al azar de millares de bases de ADN que dan lugar a un gen. Muchas proteínas se construyen a partir de componentes que la evolución fue aportando en épocas más tempranas. El desarrollo de técni-

cas rápidas para secuenciar genes y moléculas de proteínas nos permite examinar millares de secuencias. Cuando los genéticos comparan la secuencia de una nueva proteína con los bancos de datos que incluyen las conocidas hasta ese momento, la regla, y no la excepción, suele ser descubrir semejanzas totales o parciales.

Basándose en estas homologías, o semejanzas entre secuencias, podemos agrupar en familias y superfamilias los genes y las proteínas que de ellos derivan. Algunos miembros de un grupo podrían compartir sólo algunos componentes necesarios para el plegado de proteínas en formas aproximadamente iguales; otras podrían ser casi tan idénticas en toda su extensión que las diferencias funcionales resulten mínimas.

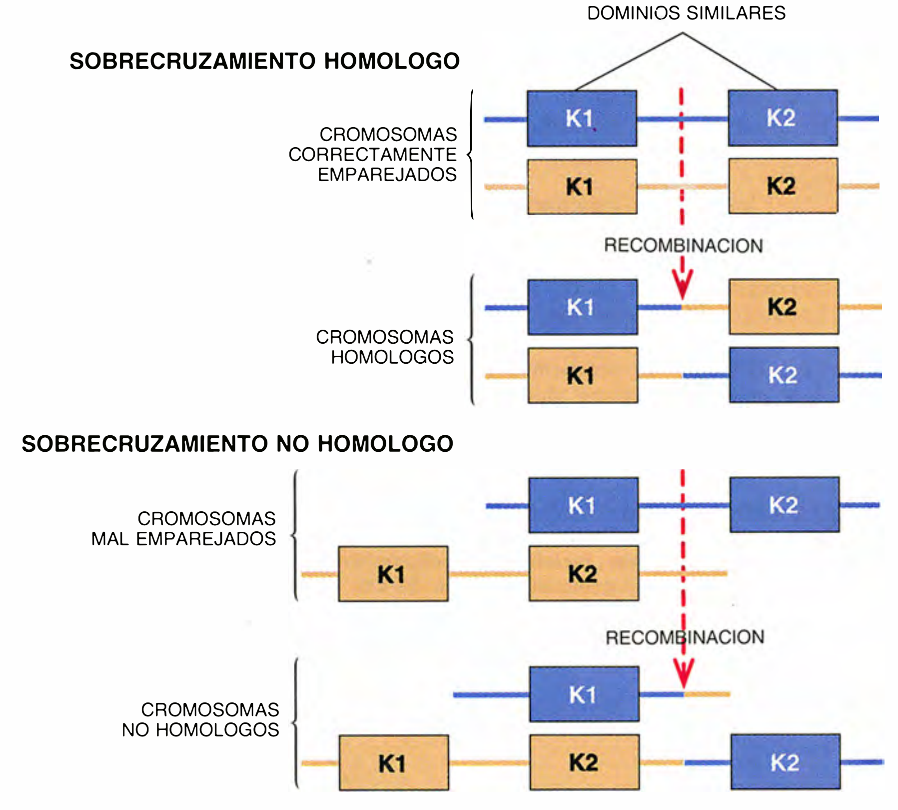


3. LOS DOMINIOS DE "KRINGLES" y otras coincidencias entre apolipoproteína(a) y plasminógeno, una proteína de la sangre que disuelve los coágulos, sugiere la existencia de un parentesco cercano entre sus moléculas. La apolipoproteína(a) carece de tres de los dominios de "kringle" que presenta el plasminogéno. Otros dos "kringles" y un dominio correspondiente a una proteinasa aparecen en ambas proteínas; la apolipoproteína(a) posee entre 10 y 40 copias de uno de estos "kringles".

Una de las primeras familias de genes en ser analizada correspondió a la de los genes de la globina, que codifican las subunidades de la hemoglobina. En el hombre hay cinco genes de globina homólogos, dispuestos en tándem en uno de los cromosomas. Tal agrupación se originó, probablemente, como consecuencia de duplicaciones repetidas de parte del ADN cromosómico. Las copias adicionales del gen ancestral de la globina mutaron gradualmente, y algunas sobrevivieron gracias a sus ventajas funcionales. La evolución de las globinas permitió la aparición de ciertas especializaciones: algunas que ligan el oxígeno con más firmeza, por ejemplo, se expresan sólo durante el desarrollo prenatal haciendo posible que la hemoglobina fetal obtenga el oxígeno de la circulación materna.

En muchos casos, las proteínas evolucionan a través del intercambio de partes de genes que dan lugar a dominios o módulos funcionales [véase "Proteínas", por Russell F. Doolittle; INVESTIGACION Y CIENCIA, diciembre de 1985]. En la mayoría de los genes de los organismos superiores, las regiones que codifican los dominios de las proteínas están separados por regiones no codificadoras; la síntesis proteica implica el ensamblamiento de estos dominios separados en una sola estructura, el ARN mensajero, después de que se hayan producido cortes y empalmes en una molécula intermediaria. La arquitectura genética modular facilita la evolución de las proteínas, porque los genes pueden intercambiar dominios discretos que confieran una particular afinidad de ligamiento, una actividad enzimática o un rasgo estructural favorable.

El plasminógeno y la apolipoproteína(a) forman parte de una superfamilia amplia que se ha ido constituyendo a través de la adquisición y pérdida de módulos funcionales en los duplicados de los genes. Todos los miembros de la familia, que incluye casi una docena de proteínas implicadas en la coagulación de la sangre, poseen un dominio homólogo de la tripsina, una proteinasa de amplia especificidad que degrada la proteína de la dieta. Esa homología sugiere que esas proteínas y la tripsina surgieron a partir de una proteína ancestral común. Además del dominio homólogo de la tripsina, algunas de estas proteínas comparten otros módulos entre sí y con otras proteínas no proteinasas, pertenecientes a grupos distintos. Comparando las secuencias y contando los cambios ocurridos desde el instante en que un gen o dominio de un gen se duplicó, los biólogos moleculares han elaborado dendrogramas que nos esquematizan las relaciones evolutivas entre las proteínas.



4. EL ENTRECRUZAMIENTO DEL ADN entre cromosomas durante la división meiótica de la célula puede producir múltiples copias de secuencias de genes, como los que constituyen los "kringles" de la apolipoproteína(a). De ordinario, los genes de cromosomas homólogos se emparejan perfectamente e intercambian cantidades iguales de ADN. Si en una hebra dos secuencias son semejantes, la primera copia de un cromosoma puede emparejar con la segunda del otro, provocando un fallo de emparejamiento. Este proceso de recombinación desigual da lugar a un cromosoma con una copia adicional de una secuencia.

Además de su dominio semejante a la tripsina, el plasminógeno posee cinco módulos, cinco "kringles" o estructuras en las que las cadenas de aminoácidos están interconectadas por medio de tres puentes disulfuro. (Se les denomina "kringles" por su parecido con el pastel danés que lleva ese nombre.) El motivo estructural "kringle" se repite en otras proteinasas, así como en algunas proteínas que carecen de función catalítica.

Cada "kringle" del plasminógeno presenta su peculiaridad. Los hay con sitios de ligamiento para la fibrina, y ayudan al plasminógeno a encontrar su sustrato preferido para la digestión del coágulo. Otro tiene un sitio de ligamiento para la antiplasmina, proteína reguladora que evita que el plasminógeno actúe de manera indiscriminada.

Las secuencias del plasminógeno y de la apolipoproteína(a) coinciden bastante bien en uno de los extremos; pero a partir de un punto la homología se interrumpe: la apolipoproteína(a) carece de las partes correspondientes a los "kringles" 1, 2 y 3, así como de la que se conoce con el nombre de región de preactivación del plasminógeno. En cambio, la apolipoproteína(a) posee múltiples repeticiones de un dominio que se asemeja bastante al "kringle" 4 del plasminógeno; en el gen de la apolipoproteína(a), que clonamos en 1987, ese "kringle" se repite más de 30 veces.

Es fácil imaginar una evolución de la apolipoproteína(a) en varios pasos, comenzando por la duplicación del gen del plasminógeno (o de un gen que fuera el precursor común de ambos). Posteriormente se habría producido una deleción de segmentos del gen que codificaban parte del plasminógeno, incluidos los "kringles" 1, 2 y 3. También se producirían mutaciones que habrían originado sustituciones de aminoácidos, con lo que se habrían alterado las características funcionales de los restantes dominios proteínicos. Ciclos sucesivos de duplicación de la secuencia habrían dado lugar a la multiplicación tan extensa de la región que codifica el "kringle" 4.

Como advirtió Gerd Utermann, de la Universidad de Innsbruck, el tamaño de la apolipoproteína(a) difiere considerablemente de un individuo a otro. Algunos han comprobado que esas diferencias derivan, casi por entero, de variaciones en el número de los dominios de "kringles" repetidos. El gen de la apolipoproteína(a) que se clonó, y que contiene 37 "kringles" repetidos, ha resultado ser una de las variantes más largas de las halladas.

El alto grado de homología entre las copias del "kringle" 4 encierra su interés. Muchas proteínas contienen internamente dominios repetidos, pero las copias tienden a divergir conforme se van acumulando las mutaciones. Los cinco "kringles" del plasminógeno, por ejemplo, eran probablemente muy semejantes en un principio, pero ahora difieren en unos 70 de los 114 aminoácidos. En contraste con esto, más de 20 de los dominios de los "kringles" repetidos de la apolipoproteína(a) coinciden enteramente en la secuencia de aminoácidos y en la del correspondiente ADN, integrado por un total de 342 bases. Muchos "kringles" se han añadido, a buen seguro, en momentos más recientes, por un proceso de recombinación homóloga fuera de registro.

La recombinación tiene lugar durante la meiosis, el mecanismo celular en el que se forman las células sexuales, cuando los cromosomas homólogos se mantienen perfectamente emparejados según sus correspondientes secuencias de ADN. La rotura y empalme de las hebras de ADN, u otros procesos enzimáticos conducentes al mismo resultado, permiten el intercambio de partes de un cromosoma por las del cromosoma homólogo. Este proceso de recombinación homóloga retiene la estructura global de cada cromosoma. Sin embargo, si los cromosomas contienen secuencias repetidas, puede producirse un fallo en el emparejamiento. La primera secuencia repetida de un cromosoma puede emparejar con la segunda secuencia de otro cromosoma. La recombinación entre cromosomas fuera de registro dará lugar a un cromosoma con una copia adicional del dominio repetido, y a otro cromosoma con una deleción. Este mecanismo, consecuencia del azar, ofrece una posible explicación de las grandes diferencias heredadas en lo referente al tamaño de las moléculas de apolipoproteína(a).

A partir de la frecuencia con que se supone que tienen lugar las mutaciones en el ADN, algunos han estimado que las secuencias de la apolipoproteína(a) y del plasminógeno empezaron a distanciarse hace sólo unos 40 millones de años. Esa fecha corresponde a la época en que se produce una escisión entre los monos del Nuevo y del Viejo Mundo. En consonancia con ese hallazgo, la búsqueda de apolipoproteína(a) en diversas especies no dio resultado positivo más que en los monos del Viejo Mundo, primates superiores y el hombre. Esta conclusión dejó fascinados a los expertos en evolución molecular, al mismo tiempo que sumió en el desánimo a quienes esperaban estudiar los mecanismos de la aterosclerosis en roedores y micromamíferos de laboratorio.

Pero en 1988 P. M. Laplaud, de la

5. ESTE ARBOL DE PROTEINAS muestra una reconstrucción simplificada e hipotética de las relaciones evolutivas entre un grupo amplio de proteínas, incluidas la apolipoproteína(a) y el plasminógeno. Todas las proteínas derivan de una proteinasa ancestral. Moléculas con nuevas propiedades surgen a través de la adición, deleción o duplicación de dominios funcionales en las proteínas y también a través de la acumulación gradual de sustituciones de aminoácidos mediante mutaciones.

TIPO DE DOMINIOS
P PROTEINASA
K "KRINGLE"
Pr PROPEPTIDO
C LIGAMIENTO DE CALCIO
E FACTOR DE CRECIMIENTO EPIDERMICO (FCE)
F FIBRONECTINA
F" FIBRONECTINA"
DUPLICACION REPETITIVA DE KRINGLES
APOLIPOPROTEINA(a)
PLASMINOGENO
FACTOR DE CRECIMIENTO DEL HEPATOCITO

facultad de medicina de la Universidad de Limoges, encontró niveles elevados de una proteína parecida a la apolipoproteína(a) en el erizo europeo. Este insectívoro cubierto de espinas es pariente bastante lejano del hombre —la línea de la que desciende se separó de la de nuestros antepasados en la evolución hace unos 80 millones de años. Ese descubrimiento vuelve a poner sobre el tapete la historia de la apolipoproteína(a). Habrá que esperar a la clonación y secuenciación de los genes de la apolipoproteína(a) de diferentes especies para resolver el problema de su origen.

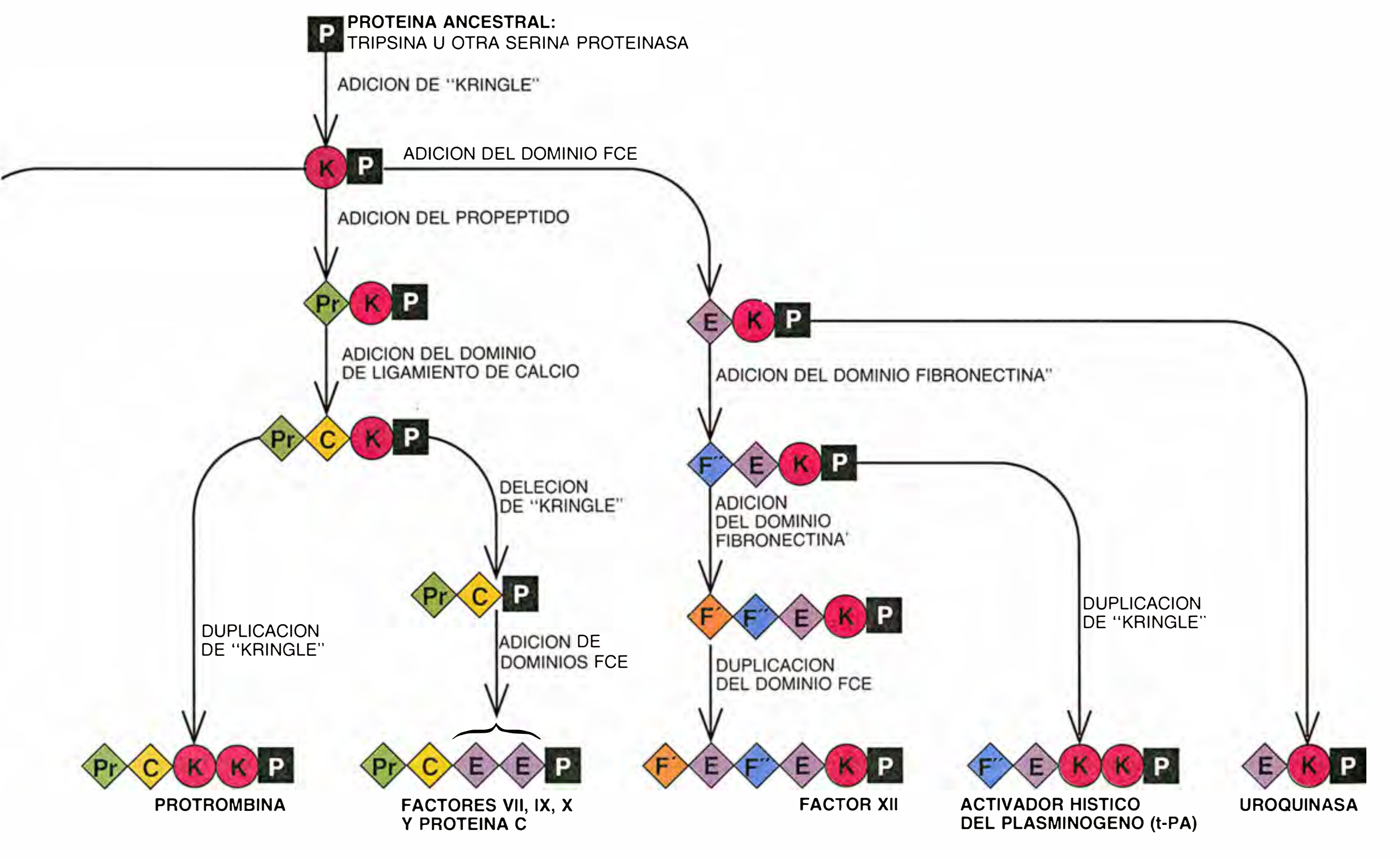
La secuencia de la apolipoproteína(a) ofrece pistas prometedoras relativas al papel fisiológico normal de la proteína y a su participación en el desarrollo de la aterosclerosis. ¿Interviene la lipoproteína(a) en la cicatrización de las lesiones de los vasos sanguíneos? Cuando se pincha o se rasga un vaso, la formación de coágulos ricos en fibrina detiene temporalmente la salida de la sangre, pero la cicatrización depende del crecimiento de nuevas células, que necesitan colesterol, un componente de sus membranas.

No es de extrañar que la apolipoproteína(a), una proteína emparentada con el plasminógeno unida a la partícula transportadora de colesterol LDL, aporte alguna ventaja selectiva en la reparación de las lesiones. Si la proteína retuviera la capacidad de ligar fibrina que caracteriza al plasminógeno no activado, suministraría el colesterol necesario en el lugar y el momento oportunos. Este papel beneficioso de la apolipoproteína(a) no está reñido con sus efectos patológicos: la proteína podría haber surgido en un momento de la evolución en que los primates, antepasados nuestros, hubieran tenido en su sangre niveles de colesterol más bajos que los del hombre de hoy que consume grandes cantidades de grasas. La selección natural no habría estado determinada por ese deseo actual nuestro de evitar la muerte por enfermedad cardiaca a la madura edad de 40 años.

El empeño puesto en la confirmación de esta y otras hipótesis relacionadas ha producido frutos diversos. En un comienzo, parecía que la apolipoproteína(a) no se unía a la fibrina con la eficacia del plasminógeno; pero, más tarde, el grupo de Peter Harpel, de la Universidad de Cornell, y otros laboratorios han observado que la degradación parcial de un coágulo de fibrina saca a la luz sitios a los que se une bien la apolipoproteína(a). Estos sitios ayudarían a que la lipoproteína(a) se uniese al coágulo sanguíneo en el estadio de cicatrización de una lesión, cuando el coágulo comienza a disolverse. Se ha demostrado en varios laboratorios que algunas moléculas de la pared del vaso, incluidas las de la matriz intercelular (elastina, fibronectina, colágeno y glicosaminoglicanos), se acoplan a la lipoproteína(a) con mayor avidez que a la LDL. De cuanto cabría inferir que la lipoproteína(a) podría ayudar a la cicatrización de las heridas, aun cuando pueda promover la aterosclerosis si abunda en exceso.

La lipoproteína(a) podría penetrar también en la pared de los vasos alojada en el interior de los macrófagos. Estas células forman parte de la defensa inmunitaria frente a los agentes patógenos y se encargan de eliminar los desechos microscópicos del organismo. Sus dotes especiales les facultan para ingerir microbios invasores, trozos de células muertas y partículas tóxicas, incluidas sustancias lipídicas y proteínas oxidadas por reacciones químicas producidas en el seno de los tejidos.

Pero los macrófagos pueden causar daño. Si van sobrecargados de una excesiva cantidad de LDL oxidada, se resiente su misión limpiadora con peligro de convertirse en células es-



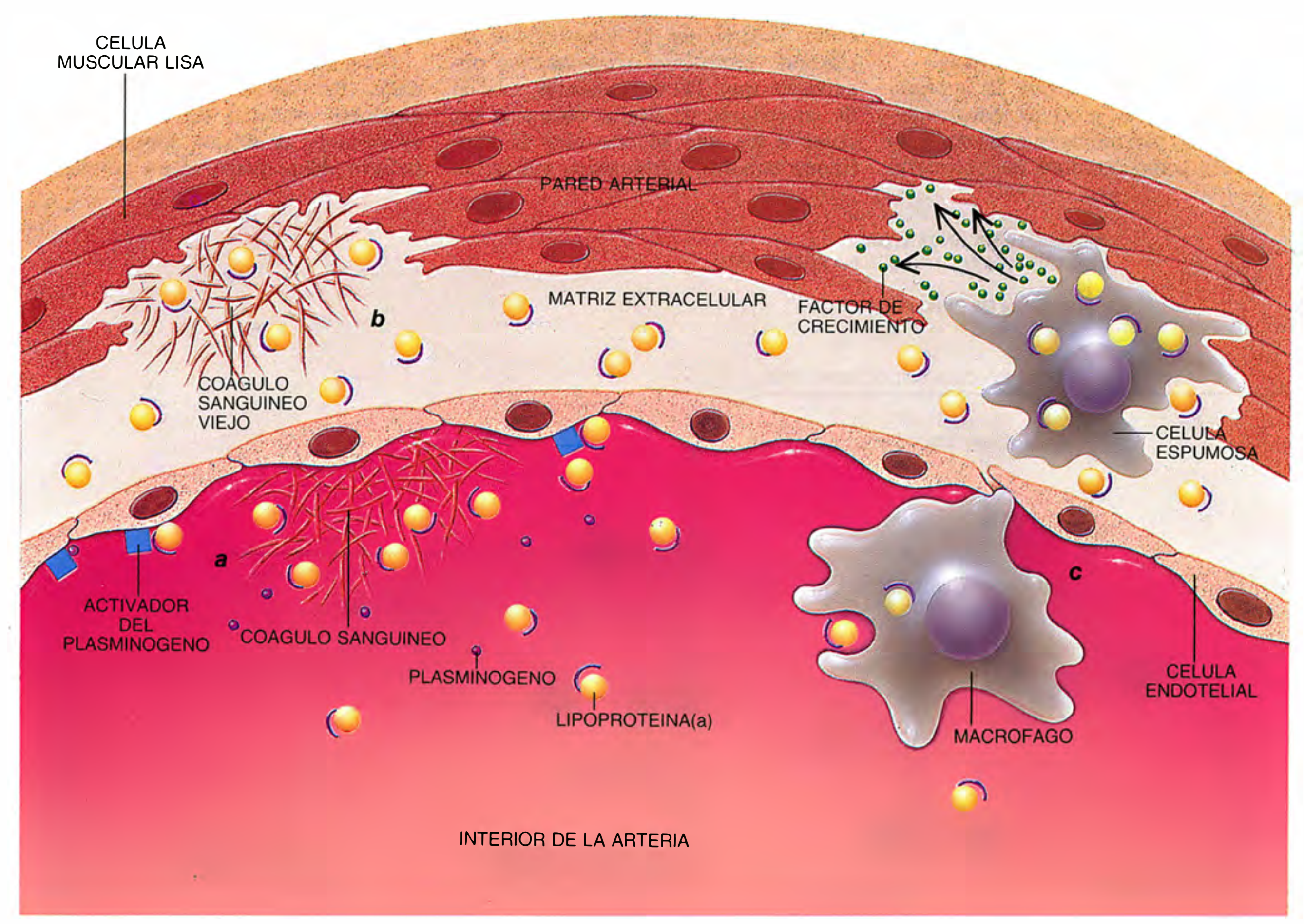
pumosas rebosantes de lípidos. Estas células pueden quedar atascadas en los vasos sanguíneos y liberar factores de crecimiento que promueven la multiplicación celular, con el espesamiento consiguiente de la pared arterial. La lipoproteína(a), sobre todo después de la oxidación, podría adherirse a los macrófagos y promover su transformación en células espumosas.

La lipoproteína(a) podría, de una manera más directa, promover el desarrollo de las placas ateroscleróticas. Dos grupos japoneses acaban de caracterizar el factor de crecimiento del hepatocito, proteína cuya estructura recuerda la secuencia del plasminógeno, aunque no tanto como en el caso de la apolipoproteína(a). Si la apolipoproteína(a) puede promover la división celular como lo hace el factor de crecimiento del hepatocito, podría también provocar la proliferación de las células de las paredes de los vasos.

La apolipoproteína(a) podría provocar la enfermedad coronaria al favorecer la persistencia de los coágulos sanguíneos. Los coágulos no son sólo el componente final que provoca el ataque cardiaco, sino que pueden, además, tomar parte en el engrosamiento gradual de la pared arterial que lo precede. Algunos sostienen que los coágulos microscópicos se forman y se disuelven muchas veces durante la vida de un vaso. Estos coágulos pueden dejar con frecuencia residuos que se incorporan a la pared del vaso cada vez que éste se repara. Depósitos que actuarían de señales para iniciar el crecimiento celular durante la respuesta de cicatrización de la lesión.

Cualquier factor que avivara la formación de coágulos o impidiese su disolución podría lógicamente desempeñar un papel doble como causante del ataque cardiaco. A diferencia del plasminógeno activado, la apolipoproteína(a) no puede disolver la fibrina. Y, sin embargo, por su parecido molecular con el plasminógeno, la apolipoproteína(a) podría suplantarlo. Se ha comprobado que, si concurren ciertas condiciones experimentales, la apolipoproteína(a) puede competir con el plasminógeno en su acceso a la fibrina, a los sitios de enlace sobre las superficies celulares y a los activadores del plasminógeno. Cualquiera de estas actividades competitivas podría obstaculizar las acciones del plasminógeno alterando así el delicado equilibrio entre la formación del coágulo y su desintegración.

Esta idea ofrece una explicación satisfactoria de la relación existente entre niveles altos de lipoproteína(a) y enfermedad cardiaca, aunque esto hay que aceptarlo con cierta cautela. La competencia entre plasminógeno y apolipoproteína(a) no parece ocurrir en cualquier condición, ni siquiera en muchas de tipo fisiológico. Más aún, la cantidad de plasminógeno en la sangre excede de lejos la cantidad de apolipoproteína(a), por lo que el efecto debido a la competencia puede ser muy pequeño. A pesar de lo cual, basta una ligera prolongación del tiempo necesario



6. MECANISMOS POSIBLES DE INDUCCION de la enfermedad cardiaca por parte de la lipoproteína(a) según varios posibles mecanismos. Al competir con el plasminógeno por los lugares donde éste se une al coágulo sanguíneo y a las enzimas activadoras del plasminógeno (*a*), la lipoproteína(a) puede frenar la desintegración del coágulo capaz de provocar un ataque cardiaco. Los restos de coágulos viejos dentro de la pared arterial y la lipoproteína(a) anclada a la matriz extracelular pueden ser señales para que las células que revisten las arterias se multipliquen sin mesura (*b*). Los macrófagos que ingieren lipoproteína(a) en exceso se convierten en células espumosas, que liberan factores de crecimiento (*c*).

para disolver un coágulo para afectar, de forma crítica, el curso de una enfermedad que, como la aterosclerosis, tarda años en desarrollarse. La posibilidad de que la apolipoproteína(a) inhiba la degradación de un coágulo es aún una cuestión rodeada de interrogantes que requiere nuevos estudios en el futuro.

Están ya en marcha experimentos encaminados a comprobar la validez de estas hipótesis, en los que deben superarse dificultades tales como la de reproducir en el laboratorio todos los componentes de la arteria humana. Es de esperar que la preparación de animales transgénicos constituya la vía que lleve al desciframiento del papel de la apolipoproteína(a) en la aterosclerosis; se trataría de insertar el gen de la apolipoproteína(a) en roedores u otros animales y conseguir que la proteína se exprese en la sangre en grandes cantidades. Si se comprobara que una especie que, en condiciones normales, carece de apolipoproteína(a) se tornara sensible a la formación de placas a raíz de la inserción del gen humano, quedaría firmemente establecida la relación causa-efecto entre apolipoproteína(a) y enfermedad coronaria. Los animales transgénicos podrían servir de modelo del desarrollo de la aterosclerosis en el hombre. Los resultados recientes indican que los ratones transgénicos que albergan el gen de la apolipoproteína(a) humana son más proclives al desarrollo de la aterosclerosis.

Y mientras los bioquímicos nos deshilan la madeja de la lipoproteína(a) y de la aterosclerosis, ¿qué podemos hacer por esa cuarta parte de la población que ha heredado niveles elevados de la proteína y corre el riesgo de sufrir la enfermedad coronaria? Un primer paso aconsejable sería el de identificar las personas con niveles elevados de lipoproteína(a) por medio de exploraciones sistemáticas. En la actualidad, sólo centros de investigación y algunas clínicas especializadas poseen el equipamiento necesario para llevar a cabo la determinación de lipoproteína(a), aunque es previsible que pronto se amplíe la disponibilidad de los medios analíticos precisos.

La comprobación de los niveles de lipoproteína(a) en pacientes con enfermedad coronaria en los que no se den otros factores de riesgo podría servir de gran ayuda en la detección de individuos con niveles altos de esta proteína. Y, al ser los niveles de lipoproteína(a) un rasgo heredable, convendría examinar también a los parientes cercanos de quienes presenten valores elevados de lipoproteína(a) y de los pacientes con enfermedad coronaria prematura.

En lo que se refiere al tratamiento, la dieta y la medicación pueden hacer descender los niveles de LDL y el riesgo de enfermedad cardiaca, aunque su efecto sea bastante más limitado en lo tocante a los niveles de lipoproteína(a). En una de las demostraciones más espectaculares de la insensibilidad a la dieta, Scanu y sus colaboradores sometieron a monos rhesus a un cambio de un régimen pobre en grasas por otro extremadamente rico en ellas: los monos evidenciaron una elevación de los niveles de LDL de hasta 10 veces, sin ningún cambio apreciable en los niveles de lipoproteína(a). De todos los fármacos disponibles para bajar el colesterol circulante, sólo dosis elevadas de niacina, según datos publicados, rebajan los niveles de lipoproteína(a). Ese efecto, sin embargo, no se aprecia en todos los casos, y algunos pacientes tampoco toleran bien las dosis altas de niacina.

La prudencia aconseja, en este terreno, tratar lo tratable. Siendo, por lo común, aditivos los factores de riesgo de enfermedad cardiaca, los individuos con niveles altos de lipoproteína(a) harían bien en controlar los demás factores de riesgo conocidos, tales como el colesterol asociado a LDL, el tabaco, la hipertensión y la obesidad. Puede servirles de consuelo que mucha gente con niveles elevados de lipoproteína(a) nunca llegue a padecer un ataque de coronarias, y que en otras partes del mundo, en que el número de los demás factores de predisposición es menor, la aterosclerosis constituye una rareza. Dadas las muchas cuestiones pendientes acerca de la asociación entre lipoproteína(a) y enfermedad cardiaca, el tema está llamado a seguir despertando en un futuro inmediato el mismo interés que hoy reviste.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

LIPOPROTEIN(a). Dirigida por Angelo Scanu. Academic Press, 1990

LIPOPROTEIN(a): HETEROGENEITY AND BIOLOGICAL RELEVANCE. Angelo Scanu y Gunther Fless en *Journal of Clinical Investigation*, vol. 85, n.º 6, págs. 1709-1715; junio de 1990.

LIPOPROTEIN(a) AND ATHEROSCLEROSIS. A. Scanu, R. Lawn y K. Berg en *Annals of Internal Medicine*, vol. 115, n.º 3, págs. 209-218; 1 de agosto de 1991.

MODULAR EXCHANGE PRINCIPLES IN PROTEINS. László Patthy en *Current Opinion in Structural Biology*, vol. 1, n.º 3, págs. 351-361; junio de 1991.

El códice Mendoza

Este magnífico libro pictórico, compuesto por los aztecas a instancia de los conquistadores españoles, constituye un testimonio visual de una civilización que desaparecía

Patricia Rieff Anawalt y Frances F. Berdan

Cuando Hernán Cortés y los suyos sometieron a los aztecas en el año 1521, encontraron en estos indígenas americanos la mezcla de una tecnología simple e impresionantes logros culturales. El imperio azteca era vasto y populoso; se extendía de mar a mar, y comprendía unos 20 millones de habitantes. El uno por ciento de esta población, aproximadamente, vivía en Tenochtitlán, ciudad de tamaño igual o mayor que muchas urbes europeas. Hoy, bajo el nombre de ciudad de México, está convirtiéndose rápidamente en la mayor metrópolis del mundo.

Los mesoamericanos empleaban un sistema de escritura pictográfica que ha llegado hasta nosotros en algunos libros de corteza de higuera o piel de ciervo. Los manuscritos registraban genealogías, historias y listas de tributos, y servían de manuales rituales, adivinatorios y calendáricos. Numerosos códices de ésos serían pasto de las llamas al poco de la conquista, víctimas del proselitismo de los españoles. Pero sólo unas décadas después, algunos frailes comenzaron a encargar a artistas nativos registros de aspectos seleccionados de la civilización que estaba desapareciendo rápidamente.

Ningún códice colonial iguala en prestancia e información al códice Mendoza. Consta de 71 folios de papel español y se preparó en la ciudad de México, en 1541, con el fin de dar noticia a Carlos I de España de sus exóticos y nuevos súbditos. El manuscrito parece que fue compuesto por orden del primer virrey español de México, Antonio de Mendoza, que quería obtener una descripción de primera mano de la vida azteca, mientras aún viviesen indígenas anteriores a la conquista.

La compilación del códice requirió un trabajo en equipo, como el propio documento revela y en el que se manifiesta la mano de un mismo maestro pintor, en tanto que otros ayudantes prepararon los pigmentos y aplicaron el color a la aguada. Informadores que habían vivido buena parte de sus vidas bajo el gobierno azteca interpretaron las pinturas en nahuatl, lengua azteca que servía de *lingua franca* en toda Mesoamérica. Estos comentarios se tradujeron luego al castellano y se transcribieron en página opuesta por un religioso español.

El virrey Mendoza afirmaba, en carta fechada el 6 de octubre de 1541, que el fraile que estaba compilando el libro pictórico se había basado en los conocimientos "de muchos señores de cada provincia" y que entre ellos había habido una considerable diversidad de opiniones. La falta de una clara resolución confundió al escriba, quien en la última página se excusa por algunos errores, corregidos apresuradamente, y se queja de no haber tenido tiempo suficiente para acabar su trabajo de forma adecuada: "fue por culpa de los indios, que tardaron en ponerse de acuerdo".

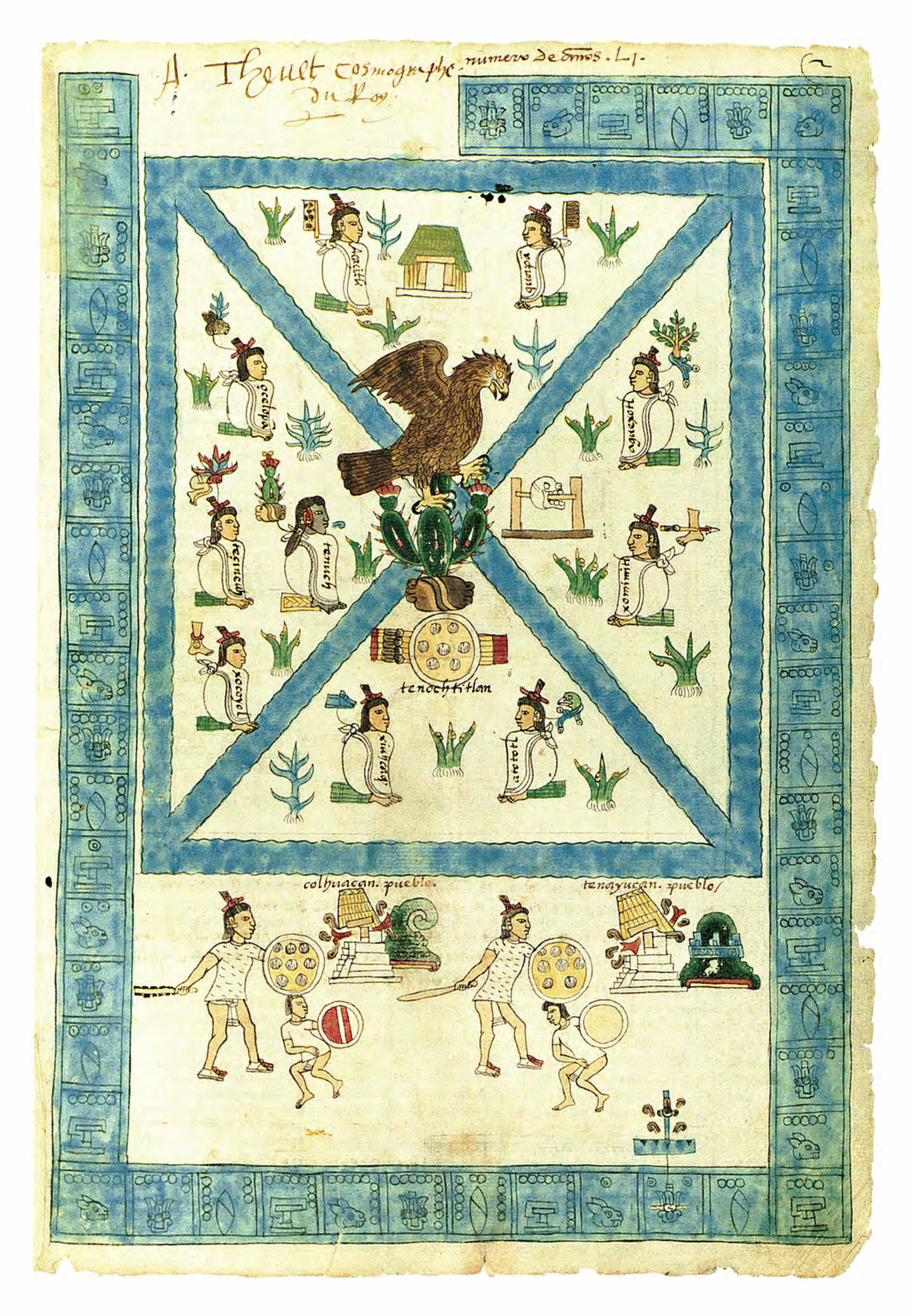
No disponía el amanuense de mucho tiempo, pues debía enviar el manuscrito antes de la estación de los huracanes. Se aprestó a preparar los folios para que fueran transportados por una recua de mulas, que acto seguido recorrería 400 kilómetros embarrados, por un camino retorcido que descendía más de 2000 metros hasta el puerto de Veracruz, de donde partía la flota regular. El códice Mendoza nunca llegaría a España. En la travesía, el galeón que lo portaba fue asaltado por un buque francés y, su botín, llevado a la corte de Enrique II de Francia. Allí el documento pasó a manos del geógrafo del rey, André Thevet, un clérigo, cuya firma aparece tres veces en los 71 folios.

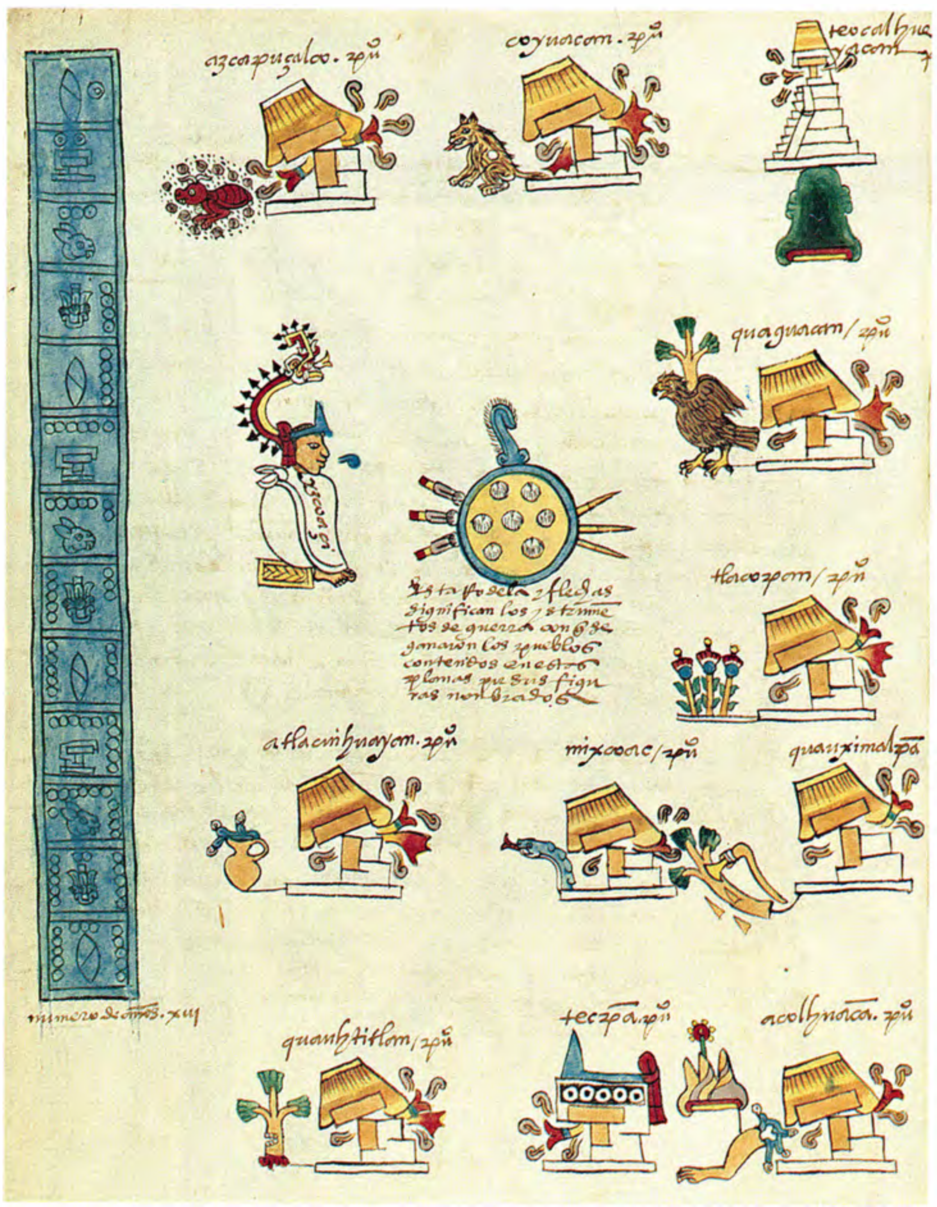
Tras la muerte de Thevet, Richard Hakluyt, capellán del embajador inglés en Francia, adquirió el códice por 20 coronas inglesas y lo llevó a Inglaterra. En algún momento después de 1616 pasó a manos de Samuel Purchas, un coleccionista de libros de viajes. Su hijo vendió el manuscrito a John Selden, renombrado coleccionista de libros del Nuevo Mundo, que murió en 1654. Cinco años después, el códice Mendoza entró en la Biblioteca Bodleyana de la Universidad de Oxford. Sir Thomas Bodley había establecido el más alto de los niveles para la biblioteca, que cedió a su *alma mater*: había ordenado, estrictamente, que ningún "libro de desecho" alborotase sus estanterías, hasta el punto de que sólo una década después de la muerte de sir Thomas, en 1613, pudieron entrar en la Bodleyana las primeras hojas de Shakespeare.

El códice Mendoza, a salvo en su postrer refugio, cayó en olvido durante unos 170 años. Estudiosos del Nuevo Mundo de la seriedad de Francisco Clavigero y Alexander Von Humboldt —ambos interesados en la tradición pictórica de los nativos americanos— nada supieron sobre el

PATRICIA RIEFF ANAWALT y FRANCES F. BARDEN son expertas en cultura azteca. Subvencionadas por la National Geographic Society, han estudiado también el mundo de los tejedores que hoy hablan nahuatl. Anwalt se doctoró en 1975 por la Universidad de California en Los Angeles y se ha centrado, sobre todo, en la investigación de las artes textiles mesoamericanas, lo mismo del pasado que del presente. Barden se doctoró también en 1975, aunque en la Universidad de Texas en Austin. Se dedica al estudio de la cultura azteca y el primer período del México colonial.

1. FUNDACION DE TENOCHTITLAN en 1325, representada en el primer folio del códice Mendoza. El emblema de la ciudad, un águila posada en un cactus, permanece como símbolo del México actual. Los templos ardiendo a punto de derrumbarse, encima de una pirámide escalonada (*véase parte inferior*), simbolizan la conquista de dos ciudades cercanas.


A. Theuet cosmographe du Roy
numero de anos. L1.
tenochtitlan
colhuacan. pueblo.
tenayucan. pueblo/



2. VICTORIAS DEL ITZCOATL (*izquierda*), conmemoradas en los glifos de las once comunidades que conquistó en su reinado, que se extendió a lo largo de 14 años. Estas conquistas rodean al monarca, que se sienta mirando el emblema marcial de Tenochtitlán compuesto por bolas de plumón apoyadas en tres dardos y una lanzadera. El glifo rizado frente a la boca del gobernante simboliza el habla.

paradero del manuscrito. El mundo volvió a tener noticia en 1831, cuando el vizconde Kingsborough paró sus ojos en una referencia al manuscrito que aparecía en cierta relación de las pertenencias de Thevet. Kingsborough quedó tan impresionado por el códice, que lo presentó como el manuscrito inicial de su extensa obra de nueve volúmenes *Antiquities of Mexico* publicada entre 1831 y 1848.

Un siglo después, el códice Mendoza fue trabajado por James Cooper Clark (1938) y publicado por Waterlow e hijos Ltd. Desgraciadamente casi toda la edición fue destruida en el bombardeo de Londres en 1940. Los autores acaban de terminar una nueva edición de cuatro volúmenes, que se cita en la bibliografía.

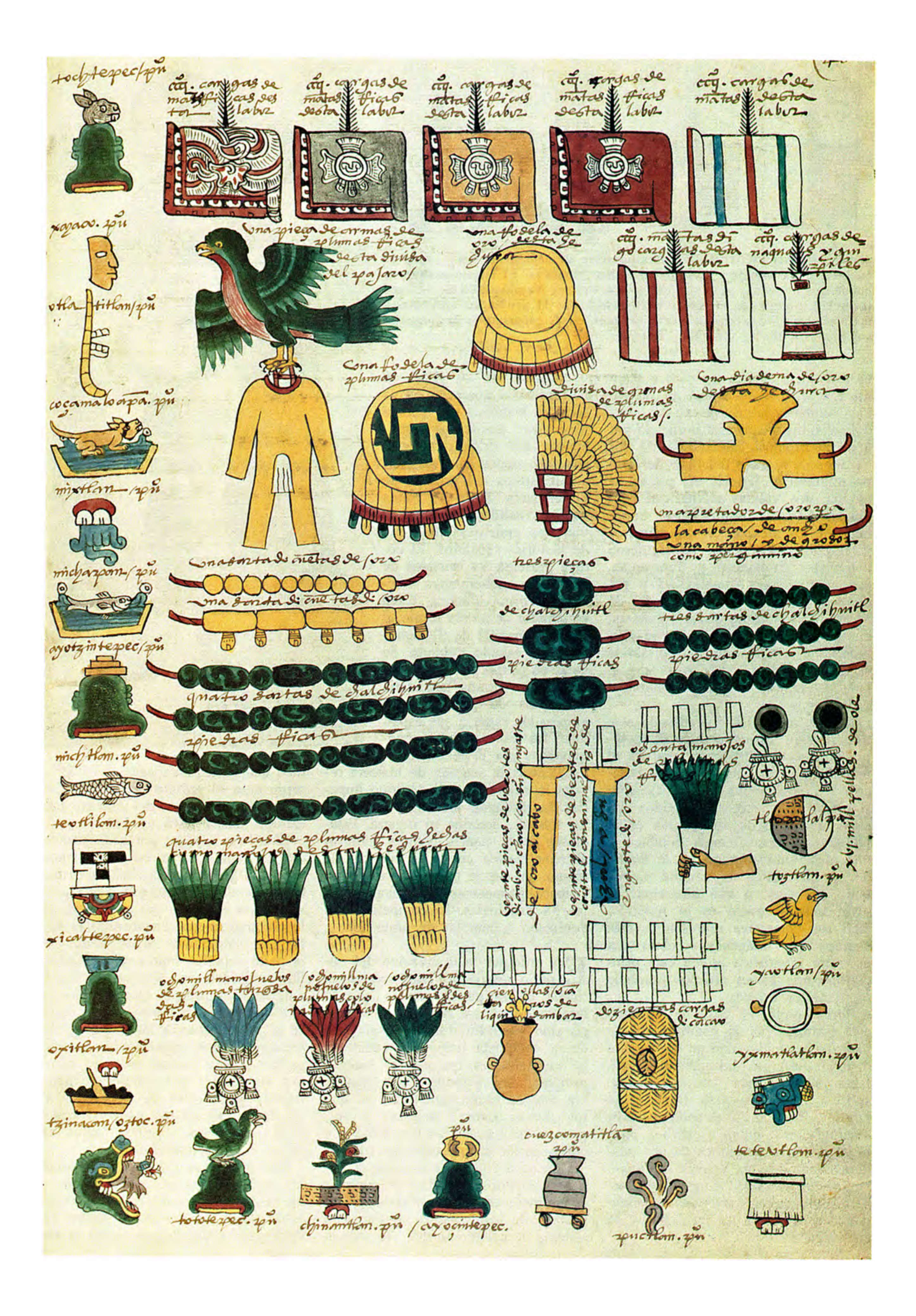
El códice Mendoza se compone de tres partes. Los primeros diecinueve folios narran la historia de la conquista de Tenochtitlán por los mexica, tal como se llamaban los aztecas a sí mismos. Los siguientes 37 folios son tablas de tributos de las treinta y ocho provincias del imperio (muchas de estas tablas ocupan un folio más o menos). Los últimos quince folios dan una enumeración etnográfica del ciclo de vida azteca.

A pesar de que Tenochtitlán era el centro directivo, otras ciudades —Texcoco y Tlacopán— participaban como socios menores. En la década de los cuarenta Robert H. Barlow, de la Universidad de California en Berkeley, se refería a este arreglo como al imperio de la triple alianza. El término "azteca", por otra parte, fue empleado por primera vez en 1813 por Guillermo de Humboldt, que lo dedujo de Atzlán, el origen mítico de los mexica. Treinta años después William H. Prescott popularizó el neologismo de Humboldt en su libro *La conquista de México*.

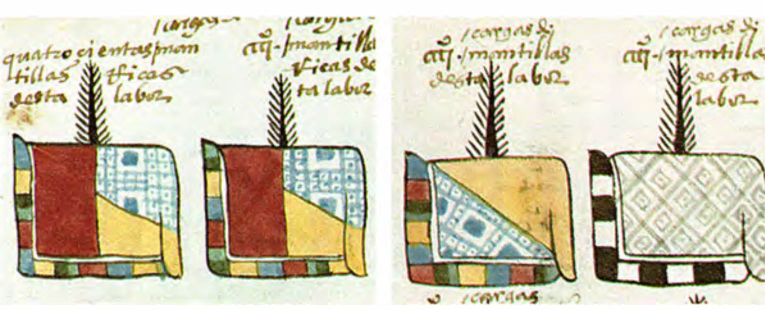
La primera página pictórica del códice Mendoza describe la fundación de Tenochtitlán por los aztecas en 1325 (*figura 1*). Representa tanto el hecho como la leyenda. De acuerdo con su tradición emigratoria, los mexica originalmente habían vivido como cazadores y recolectores nómadas en los desiertos del norte de México. A principios del siglo XII, comenzaron a emigrar, convirtiéndose en los últimos de una serie de pueblos de ese tipo que llegaron al valle de México. El único sitio que se les había dejado para establecerse era una isla poco prometedora, pero allí encontraron la señal que su dios les había prometido: un águila posada en un cactus creciendo de la roca, con una serpiente en el pico. Es hoy el emblema nacional de la República.

Esta isla pantanosa creció hasta convertirse en una metrópolis de 200.000 habitantes en 1519, que en aquel tiempo había desarrollado distintas zonas divididas por canales que se entrecruzaban. La pintura muestra barrios bien definidos, uno de los cuales contiene un repecho lleno de calaveras —la úni-

3. CENSO TRIBUTARIO de Tochtepec (*derecha*), una provincia que se extendía a lo largo de la costa del Golfo. El censo abarca 22 glifos de ciudades (*en sentido contrario a las mencillas del reloj, desde arriba a la izquierda*). Los ideogramas textiles en la parte superior van acompañados de un contador, para significar el envío anual de 2800 tejidos. Tras ellos aparece un traje de guerrero emplumado, con un emblema del pájaro quetzal en la espalda, escudos, un diseño de plumas amarillas también en la espalda, diademas y collares de oro, tiras de cuentas de piedra verde, amén de plumas tropicales de variados colores y paquetes de semillas de cacao.



tochtepec. pu
cccc. cargas de mantas ricas desta labor
cccc. cargas de mantas ricas desta labor
cccc. cargas de mantas ricas desta labor
cccc. cargas de mantas ricas desta labor
cccc. cargas de mantas desta labor
xayaco. pu
vna pieça de armas de plumas ricas desta divisa del pajaro
vna rodela de oro desta de suso
cccc. mantas de q° cargas desta labor
cccc. cargas de naguas y guipiles
otlatitlan. pu
vna rodela de plumas ricas
coçamaloapa. pu
divisa de plumas de plumas ricas
vna diadema de oro desta hechura
mixtlan. pu
vn apretador de oro para la cabeça de ancho vna mano y de grosor como pergamino
michapan. pu
vna sarta de cuentas de oro
tres pieças de chalchihuitl piedras ricas
vna sarta de cuentas de oro
tres sartas de chalchihuitl piedras ricas
ayotzintepec. pu
quatro sartas de chalchihuitl piedras ricas
michtlan. pu
teotilan. pu
quatro pieças de plumas ricas
ochenta manojos de plumas ricas
xicaltepec. pu
toztlan. pu
yaotlan. pu
cien ollas de liquidambar
dozientas cargas de cacao
yxmatlatlan. pu
oxitlan. pu
tzinacan oztoc. pu
cuezcomatitla pu
teteutlan. pu
totoltepec. pu
chinantlan. pu
ayoçintepec.
puctlan. pu





4. EL DISEÑO EXCLUSIVO, manifestación de orgullo de linaje, aparece en los tejidos sujetos a tributo del códice Mendoza. El mismo motivo de cuadrados moteados se repite en la capa del rey Nezahualpilli de Texcoco (*derecha*), pintado en el códice Ixtlilxochitl. Las 11 provincias obligadas a aportar esos tejidos limitan reinos antiguos, cuyos gobernantes prolongaron sus linajes hasta los venerados Toltecas.

ca referencia abierta del códice Mendoza a la práctica azteca de sacrificios humanos a gran escala.

Este folio inicial está bordeado por una descripción calendárica de los 51 años de reinado del líder del grupo migratorio, Tenoch. Al pie de la página, dos viñetas reivindican conquistas bastante improbables. Suponen que los mexica, en sus primeros y empobrecidos años, consiguieron conquistar Colhuacán y Tenayucán, dos comunidades establecidas y poderosas del siglo XIV en el valle de México. El símbolo de la conquista, un templo ardiendo a punto de desmoronarse encima de una pirámide escalonada, había sido colocado al lado del nombre de cada comunidad conquistada.

Los glifos de las ciudades de este tipo revelan varios niveles de complejidad en la escritura azteca. En el más simple, el sistema es pictográfico, el dibujo de un hombre cazando significa sólo eso, un cazador. La siguiente etapa de abstracción es la ideográfica: una imagen conduce a una idea: un ideograma de la huella de un pie indica un camino y, por tanto, un viaje o una dirección. El nivel más abstracto es el fonético: aquí los caracteres representan más sonidos que imágenes o ideas. La escritura jeroglífica aplica este principio, como hacen muchos nombres topográficos aztecas.

Por ejemplo, el glifo de *Tochpán* está formado por la combinación de *tochtli* —conejo— con un sufijo para denotar un lugar. En nahuatl la palabra *pan* significa "en, encima de, sobre", el sufijo está tomado de *pantli* —bandera o estandarte—. El resultado de combinar *tochtli* y *pantli* es la forma jeroglífica de una bandera encima de un conejo: *Tochpan*, "lugar del conejo". (Los conejos tenían implicaciones religiosas vinculadas con la Luna, la fertilidad y la embriaguez.)

Muchos de los glifos de las ciudades aparecen en la sección histórica del códice Mendoza, donde se representan las conquistas que son los acontecimientos más significativos del reinado de un monarca. Estos 19 folios son en realidad crónicas de victorias generosas más que de historias seculares. El códice presenta los reinados de los nueve gobernantes aztecas de forma idéntica. Cada emperador se sienta frente al símbolo marcial de Tenochtitlán, un escudo cubierto de bolas de plumón sostenido por tres dardos y una lanzadera. Los años de gobierno del emperador están a sus espaldas, las comunidades conquistadas por él le rodean.

Mientras la sección de historia resalta la expansión del dominio imperial, la siguiente sección, referente a los tributos, describe su riqueza. Estudiosos de la ciencia política califican el reino azteca como un imperio de tributo, ya que la autoridad central no ocupaba permanentemente ninguna de las 38 provincias, ni compelía a su población a cambiar de ubicación.

Ese enfoque en la creación del imperio refleja la visión mesoamericana de la guerra, en la que lo importante no era destruir al enemigo sino subordinarlo. Como el glifo de la conquista indica, la estrategia se centraba en quemar el templo principal del enemigo. Esa hazaña era tomada como una señal de que los dioses habían hablado y así, pues, debían cesar las hostilidades y comenzar la negociación del tributo.

Con cada conquista los aztecas ganaban territorio, súbditos y recursos económicos en forma de tributos. La gestión de estos bienes requería un sistema de cálculo formal. Ya indicamos que la segunda parte del códice representa el tributo enviado a Tenochtitlán justo antes del contacto con Europa, desde 1516 a 1518.

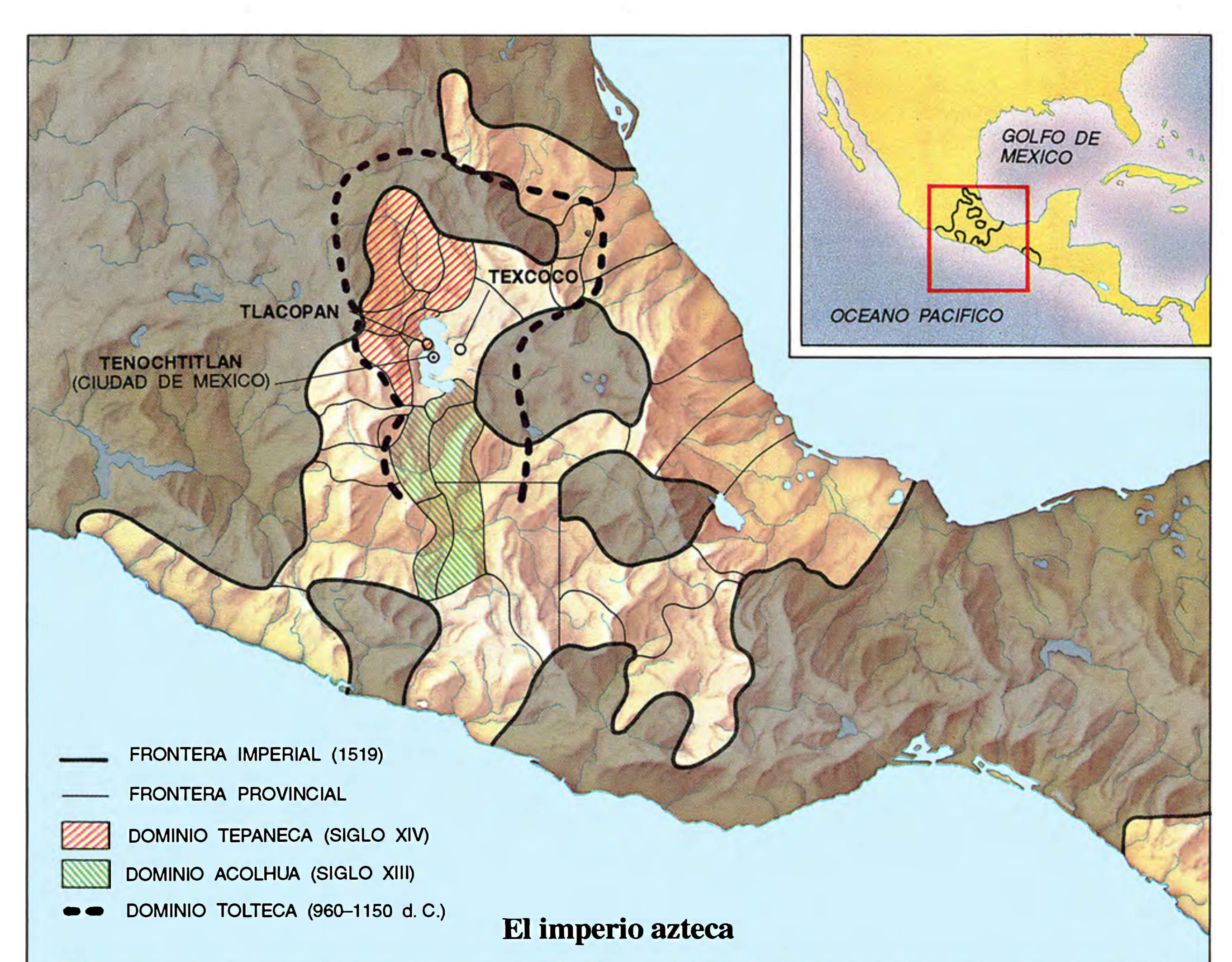
El tributo a pagar por cada provincia es representado en un formato fijo. Los glifos de las ciudades tributantes bordean el margen. Cada provincia era conocida por el nombre de la comunidad que encabezaba la lista. Los ideogramas rectangulares de la parte superior representan textiles. Son seguidos por los complejos y emplumados ropajes que servían de uniforme a los militares aztecas (*véase la parte superior de la figura 3*). Debajo de este espectacular vestido militar azteca suelen aparecer arcones de comida que contienen maíz, fríjoles y semillas de amaranto, al igual que bienes tan exóticos como pieles de jaguar, águilas, fardos de cacao y tubos para fumar.

Los productos más preciados eran las joyas hechas de piedra verde y las brillantes plumas de quetzal (*véase la parte inferior de la figura 3*). Podríamos preguntarnos cómo la es-

pecie de los quetzales pudo sobrevivir a la demanda del comercio de lujo. Los aztecas, al contrario que los europeos, conservaban sus recursos. Atrapaban al pájaro, le arrancaban las largas plumas de la cola y lo liberaban para que pudieran crecerle las plumas y además se reprodujese.

Los testimonios oculares de los conquistadores dejan claro que las lujosas vestimentas guerreras de plumas y los enormes aparejos en la espalda eran llevados al combate a modo de refuerzo psicológico. Cada traje guerrero portaba un elaborado simbolismo sobrenatural: el llevar este aparejo suponía invocar el poder y la protección de la deidad que simbolizaba.

En las listas de tributos aparecen once tipos de uniformes militares, cada uno de los cuales representa la afiliación religiosa de un cuerpo concreto dentro de la fuerza guerrera azteca. El atavío de guerra que aparece con mayor frecuencia en los censos de tributos imperiales es el *cuextecatl*, el uniforme del guerrero huaxteca (*véase la figura 6*). Este traje, cuya característica principal es su apuntado tocado, lo pagaban, en tributo, 20 provincias que divergían cultural y geográficamente, aunque, curiosamente, ninguna pertenecía a la región de la Huaxteca. Una porción de Huaxteca se convirtió en las provincias aztecas de Tziccoac y Oxitipán. Quizás el *cuextecatl* era tan eminente entre los vestidos militares aztecas porque representaba el nivel inmediatamente superior al uniforme de soldado raso, una acolchada armadura de algodón, tan efectiva que los conquistadores españoles no perdieron tiempo en adoptarla. Cuando



El imperio azteca

El imperio azteca estaba gobernado por tres ciudades estado del valle de México: Texcoco, Tlacopán y predominantemente Tenochtitlán. En 1519, el dominio imperial se extendió de mar a mar, y desde lo que hoy es conocido como el México de la parte central norte hasta las fronteras de Guatemala. Más allá del urbanizado valle de México, el poder imperial quedaba algo atenuado. En esas tierras, el emperador gobernaba a través de alianzas, a veces establecidas por medio de matrimonios, y mediante amenazas de represalias contra quien osase rebelarse.

Esta triple alianza constituía un imperio basado en el tributo, recibiendo regularmente bienes de sus tierras conquistadas. No todas las provincias eran contiguas: algunas zonas del centro y del sur de México se mantuvieron independientes del control azteca, bien por la solidez de su fuerza defensiva o bien porque su valor económico era demasiado pequeño para justificar una conquista, como en el caso de Tlascalla.

A los gobernantes vencidos se les dejaba conservar el poder local, pero constituidos, a partir de entonces, en vasallos del emperador. Entre ellos estaban los nobles que gobernaban las 11 provincias tomadas a los dos reinos más antiguos, el Acolhua del s. XIII y el Tepaneca del s. XIV. Estos nobles remontaban su linaje a las casas gobernantes de ambos reinos y de allí al linaje real del imperio Tolteca, que cayó en el 1150 d. C. En conmemoración de esta prestigiosa herencia, las once provincias presentaban en sus tributos textiles la marca genealógica Tolteca.



un joven guerrero tomaba su primer cautivo en batalla se ganaba el derecho a llevar el *cuextecatl* encima de su armadura protectora.

Toda la imaginería *cuextecatl* de origen huaxteca —gorro apuntado, rosetas, zarcillos de algodón— parece ser que fue adoptada por los mexica después de la victoria del emperador Axayacatl, que reinó desde 1470 hasta 1481, en la región de la Huaxteca. Dicha región era increíblemente fértil y productiva, reconocida por su algodón y abundantes alimentos y por el comportamiento erótico y licencioso de su populacho. Este verde mundo tropical, parte de lo



que los aztecas llamaban "tierras calientes", encerraba una especial fascinación para los pobladores de la árida meseta central.

Maravillaba a los aztecas el gusto de los huaxtecas por la bebida. Su vestimenta llevaba un emblema característico de este rasgo, que es un ornamento nasal en forma creciente. El creciente era el símbolo de los dioses del pulque, la principal bebida alcohólica de Mesoamérica, que estaba hecha del jugo fermentado de la planta de maguey. Todavía hoy, algunos mexicanos beben pulque, pero han abandonado la costumbre azteca de hacer más fuerte la bebida con una raíz de propiedades alucinatorias.

Los aztecas eran bastante ambiguos en cuestión de bebida alcohólica. Reconocían los aspectos felices de la embriaguez, pero la rodeaban de estrictas prohibiciones. Sus leyes limitaban cuidadosamente la ingestión de pulque a los contextos rituales, al menos hasta que los ciudadanos hubiesen alcanzado la edad de 70 años, cuando les era permitido beber libremente (*véase la figura 5, derecha*). Si había esperanzas razonables de alcanzar edad tan avanzada es un interrogante todavía abierto. Tras la Conquista, los aztecas mantenían que su longevidad había sido mayor antes de la llegada de los españoles; sin embargo, sus prácticas crematorias nos han dejado pocas pruebas como para juzgar la verdad o falsedad de esta afirmación.

Para el resto de la población, los problemas relacionados con el control de la bebida debieron de ser graves, a juzgar por la dureza de las penas: las crónicas españolas recogen que la infracción de las normas al respecto significaba la muerte. Aun así, la asociación del conejo —el símbolo azteca de la embriaguez— con el reverenciado culto al pulque, parece indicar la aprobación de los efectos





5. EL VICIO Y LA VIRTUD alcanzan sus justas recompensas en los ciclos vitales que comienzan con el baño de un bebé (*extremo izquierda, arriba*). Algo crecidito, su padre lo castiga poniéndolo encima de un fuego de chile; tan sólo la amenaza del castigo reforma a la hermana, a su derecha. Después, el niño todavía rebelde yace atado hasta que opta por reformarse. En años posteriores el padre le aconseja sobre buenas y malas formas de vida (*izquierda*). Finalmente, borrachos, ladrones y adúlteros sufren muerte por lapidación (*arriba*). Por otra parte, una pareja virtuosa alcanza la edad de 70 años y ganan la última recompensa: poder beber ilimitadamente.

desinhibidores de la bebida para la procreación. El mensaje subyacente en el simbolismo azteca es invariablemente el mantenimiento de la fertilidad.

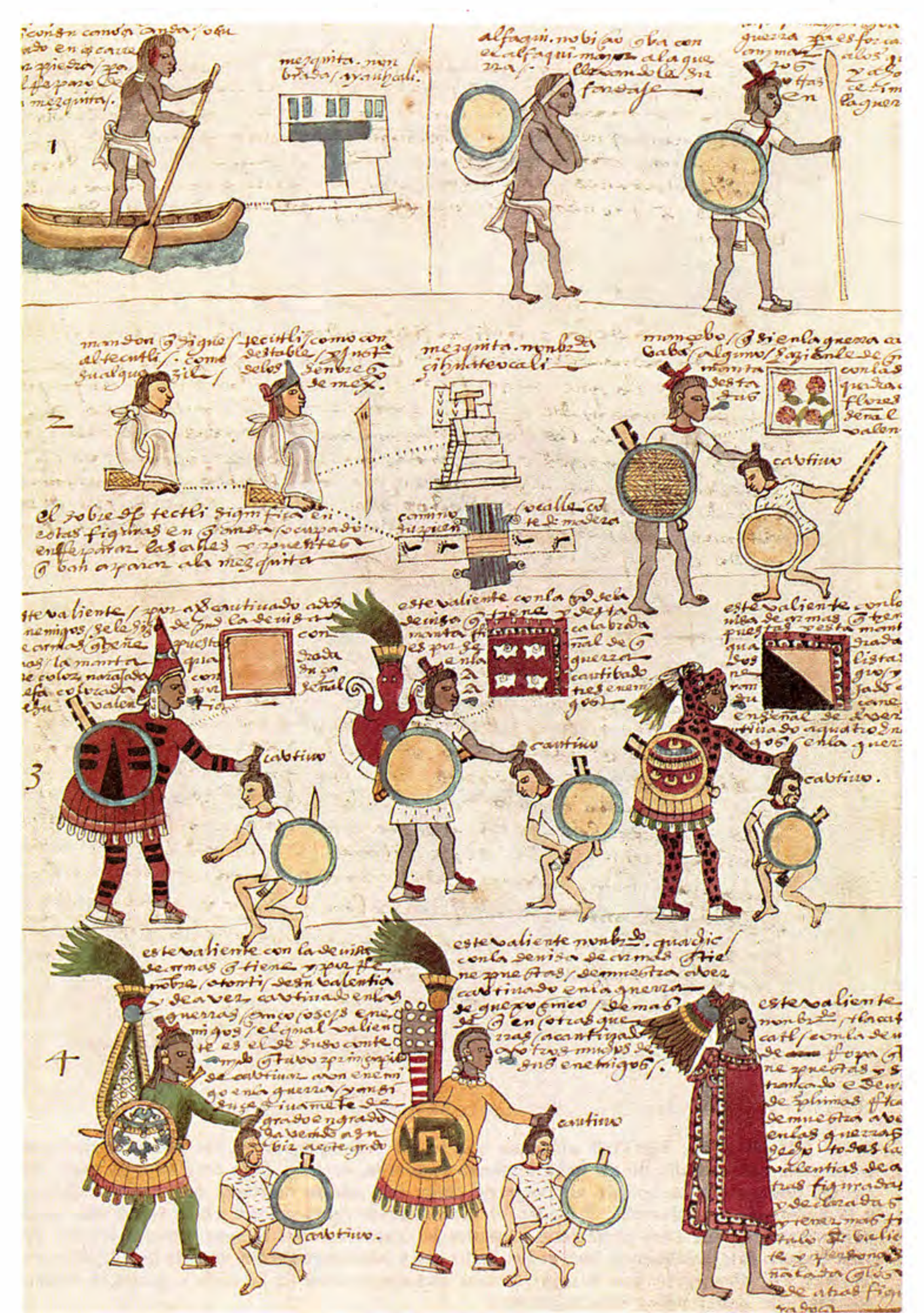
Particularmente intrigante es la aparición de un culto a los dioses del pulque a lo largo de toda la costa del Golfo, ya que el tipo de maguey, del cual se hace la bebida fermentada, no crece a esas altitudes tan bajas. El énfasis de Tochpán y Tochtepec en diseños asociados con el pulque hace suponer una introducción preazteca en esas áreas de los productos de maguey y de los motivos que los acompañan.

Así, mantos de la costa del Golfo con diseños de jarras de pulque eran utilizados por los mexica de Tenochtitlán en sus ceremonias oficiales. Esta práctica hace suponer que el imperio azteca, relativamente nuevo, buscaba validez por medio de la incorporación de la tradición iconográfica de culturas más antiguas.

Los censos de tributos del códice Mendoza contienen un ejemplo mejor de este fenómeno. Una lista de tributos textiles comprende un diseño de cuadros azules y blancos, con un punto en el centro, que se repiten. Este modelo, creado por una técnica de teñido actualmente conocida como *plangi*, debía de tener un gran significado porque marcaba el manto oficial de los gobernantes aztecas (*véase la figura 4*). La clave de este diseño se halla en la distribución geográfica de las 11 provincias que presentaban parte de los motivos en los tejidos que pagaban en tributo. No sólo son éstos territorios contiguos, sino que además sus fronteras bordean estrechamente porciones de dos reinos preaztecas. Estos reinos habían sido fundados en el despertar del antiguo imperio Tolteca, cuyo colapso en el 1150 d. C. había despojado a sus nobles de su patrimonio, pero no de su prestigio.

Los advenedizos Acolhua y Tepaneca, que al igual que los mexica más adelante habían comenzado siendo nómadas, buscaron legitimar sus conquistas y contrajeron matrimonio con la casa de la pequeña Ciudad-Estado de Colhuacán, cuyo liderazgo podía todavía afirmar su procedencia de los toltecas. Así se ganaron el derecho a pasar este diseño teñido en plangi propio de los toltecas tanto a sus descendientes masculinos como femeninos. Las capas oficiales de los gobernantes aztecas constituían declaraciones genealógicas, instrumentos heráldicos, que afirmaban la legítima reclamación a la prestigiosa y esencial herencia tolteca.

La parte etnográfica del códice Mendoza es la única de las tres que carece de modelo prehispánico. Describe el ciclo vital azteca desde el nombramiento ritual de un recién nacido, que incluye símbolos que denotan sus posibles ocupaciones futuras. Para los niños, la primera imagen es la de un escudo con flechas; todos los hombres aztecas eran entrenados como guerreros antes de convertirse en granjeros o especializarse en una artesanía u otra profesión. Sigue una exposición de las distin-



6. ASCENSO MILITAR por méritos de guerra, es decir, por prisionero capturado. El guerrero vestido de rojo, a la derecha, ha pasado por todos los 4 rangos hasta convertirse en un general respetado.

7. SACRIFICIO HUMANO según lo ilustra el códice Magliabechiano, compilado en el valle de México en algún momento anterior a 1566. Un corazón palpitante aparece a la izquierda; el cuerpo de una víctima anterior ya ha sido arrojado escaleras abajo.



tas artesanías. Para las niñas, sin embargo, sólo se representan una escoba, un huso y una cesta de trabajo (*véase la figura 5, arriba*).

Los folios siguientes cubren las edades de los 3 a los 15 años. Cada año se marca con un punto azul turquesa. La cantidad apropiada de comida está simbolizada por una ración de tortilla; medio pastel de maíz a los 3 años, dos pasteles a la edad de 13. Semejantes limitaciones en la comida, como las referentes a las bebidas alcohólicas, ponen el énfasis, casi espartano, en la autonegación, la disciplina y otras virtudes marciales. Y como en las prácticas espartanas de educación infantil, la importancia del castigo aumenta con la edad.

Todo padre estaba obligado a inculcar el código azteca de obediencia, moderación, honestidad y diligencia a sus hijos.

El mal comportamiento de un niño a la edad de 8 o 10 años tan sólo suponía golpearle las manos con un palo o clavarle espinas de maguey en la carne, pero a medida que el niño crecía el castigo adquiría mayor rigor (*véase la figura 5*). En la pintura, el niño todavía rebelde a los once años, es mantenido por encima del ácido humo de un fuego de chile. La niña es también amenazada con esta cruel práctica, pero, aparentemente, ve el error de su comportamiento. En las viñetas subsiguientes, obediente barre, muele maíz y teje en el telar. El hijo, mientras tanto, si persiste en su conducta díscola a los 12 años, es confinado y forzado a dormir en el suelo húmedo. A los 13, él también ayuda en las tareas familiares cargando cañas y atrapando peces en el lago de Texcoco.

Los folios dedicados a la crianza de los niños son seguidos por ilustraciones de los dos tipos de educación ofrecidos a los chicos. Los jóvenes nobles tenían un *curriculum* intelectual, militar y sacerdotal. Mientras que la educación de los plebeyos se centraba en habilidades prácticas, como el entrenamiento para la guerra. Las mujeres, que se casaban alrededor de los 15 años, aparecen pocas veces en los folios siguientes.

El objetivo primario de la educación masculina era formar guerreros intrépidos, un fin para el cual el lujoso vestuario militar servía de incentivo. Si el fin estratégico de la guerra estaba limitado a quemar el templo principal del enemigo, el objetivo táctico también era limitado: no se buscaba matar al enemigo, sino capturarlo para que luego fuese ofrecido en sacrificio a los dioses. Tales sacrificios eran siempre asuntos altamente ritualizados.

Cuando un soldado atrapaba a un adversario recitaba la fórmula "él es como mi querido hijo" y el cautivo respondía "él es como mi querido padre", aceptando así su destino de elegido del dios. Más tarde, en la cima de la pirámide escalonada, los sacerdotes que aguardaban extraían su corazón y se lo ofrecerían a las deidades. En el momento de la muerte se consideraba que la víctima literalmente se convertía en un dios, un gran honor tanto a los ojos de los aztecas como de sus adversarios, con un seguro de la más gloriosa de las vidas ultraterrenas.

Debe anotarse que los cautivos sacrificados formaban sólo una parte de los regalos rituales al dios. Casi todas las ofrendas de sangre provenían de autosacrificios requeridos periódicamente a cada hombre, mujer y niño azteca. La gente se extraía sangre de las partes carnosas de su cuerpo y la ofrecía a las varias deidades en los días de sus fiestas. Las ofrendas principales eran las realizadas para la sustentación del Sol, del cual se pensaba dependía el destino del mundo.

La guerra, por coincidir con obligaciones religiosas, proveer ascensos en el ejército y extender el poder del Estado, se hizo tan formalizada, que los estados vecinos acordaban fechas para sus batallas. Como consecuencia de esta guerra tan estilizada, los españoles hubiesen subyugado a los aztecas incluso sin los avances tecnológicos de enfrentar caballería con soldados de a pie, el acero con la obsidiana y las armas de fuego contra las lanzas.

Los folios finales del ciclo vital presentan lo que los aztecas consideraban justas recompensas a las vidas virtuosas y a las indignas (*véase la figura 5, derecha*). En estas pinturas no sólo un padre explica a su hijo los méritos de trabajar duro en alguna de las profesiones, sino también las trampas que aguardan a los haraganes, al vagabundo desarraigado, cuyas torcidas extremidades portan la marca del ataque de una diosa vengativa; un fanático jugador de pelota, un hombre joven que literalmente apuesta su camisa en el juego de Patolli; un ladrón rastrero; una chismosa y una joven pareja que bebe hasta el exceso y se hacen ladrones.

Al final, los bebedores, un ladrón y una pareja adúltera yacen muertos ejecutados por lapidación mientras que una venerable pareja ya anciana, de 70 años, se calienta en la solícita compañía de sus nietos. El anciano canta locuazmente mientras disfruta de un ramo de flores; la abuela y su anciana amiga parecen haberse dado complementamente a los placeres de

la bebida; tanto la espumeante jarra como la copa portan el símbolo en forma creciente de los dioses del pulque.

A pesar de la riqueza de esta información, nos gustaría disponer de más detalles descriptivos. Por ejemplo, a excepción del atavío militar, la ropa es mostrada sin ningún tipo de motivo o decoración de color de carácter etnográfico, bastante alejado, por consiguiente, de las descripciones del aparejo militar azteca y de muchos de los tejidos representados en los censos de tributos.

Pero en la parte final del códice, los españoles piden algo que probablemente no había sido visto antes en el Nuevo Mundo: una representación de la cultura y del ciclo vital de un pueblo: el maestro pintor del códice lo hizo tan bien como su estilo prehispánico se lo permitía. Su brillante esfuerzo, realizado tan sólo 20 años después de la llegada de los europeos, muestra una fascinante adaptación del estilo indígena a un tema del viejo mundo. Considerando todos los cambios por los que los aztecas habían pasado después de la Conquista, ésta era una de las obligaciones más suaves que los españoles exigieron a sus nuevos súbditos.

De todos los traumas precipitados por el descubrimiento colombino de América, ninguno fue tan dramático como el de la conquista del imperio azteca por Cortés, una verdadera guerra de los mundos. Aquí se encontraron dos civilizaciones de complejidad social y logros culturales equiparables, cada una completamente desconocida para la otra. Su encuentro violento desembocó en la total destrucción y subyugación de una de las civilizaciones más exótica de la historia. Por fortuna para nosotros, un atisbo de ese mundo sentenciado a desaparecer es hermosamente recordado en el magnífico códice Mendoza.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

CODICES MATRITENSES DE LA HISTORIA GENERAL DE LAS COSAS DE LA NUEVA ESPAÑA DE FR. BERNARDINO DE SAHAGUN. Manuel Ballesteros-Gaibrois *et alii*. Ediciones José Porrúa. Madrid, 1964.

THE EMPEROR'S CLOAK: AZTEC POMP, TOLTEC CIRCUMSTANCES. Patricia Rieff, aparecida en *American Antiquity*, vol. 55, n.º 2, págs. 291-307; abril de 1990.

INDIAN CLOTHING BEFORE CORTÉS: MESOAMERICAN COSTUMES FROM THE CODICES. Patricia Rieff. University of Oklahoma Press, 1990.

CODEX MENDOZA. Frances F. Berdan y Patricia Rieff. University of California Press, 1992.

Perfiles

Marguerite Holloway

Joseph Needham: *constructor de puentes*

Joseph Needham recuerda claramente hasta el más pequeño detalle de su tortuoso viaje por China durante la Segunda Guerra Mundial, sus reacciones en 1917 ante las noticias de la Revolución Rusa o las particularidades de una molécula crucial para el desarrollo embrionario.

Ahora, a sus 91 años, detenido sólo por la artritis, consagra su tiempo a completar su obra magna, *Science and Civilisation in China.* La serie, que le distinguió como uno de los principales historiadores de este siglo, empezó como un humilde trabajo a finales de los años 30. Cuando esté acabada, sus siete volúmenes se dividirán en unos 25 tomos.

Ya desde el principio, el precursor trabajo de Needham delineó los vastos logros científicos de los chinos en un momento en que pocos occidentales, y para el caso pocos chinos también, los apreciaron. Needham ha descrito su monumental esfuerzo como "una vocación cuasi-religiosa, la de hacer justicia al fin, así como brindar simpatía y comprensión, a un gran pueblo cuyas contribuciones al desarrollo humano han sido grotescamente minusvaloradas".

"Acérquese a ver esto", apremia Needham señalando una de las ilustraciones de sus volúmenes. Sus largos dedos recorren los trazos del esquema de una máquina de vapor china del siglo XIV. El diagrama muestra una rueda hidráulica que mueve un vástago y un eje. El eje, a su vez, mueve un pistón que impulsa los fuelles de un horno. Unos 400 años más tarde, la patente de máquina de vapor de James Pickard incorporaba ese mismo mecanismo, si bien a la inversa: el pistón hacía girar la rueda. El diseño se consideraba puramente occidental hasta que Needham publicó este volumen en 1965.

El historiador Joseph Needham dice que la ciencia china ha sido "grotescamente minusvalorada". Fotografía: David Levenson/Black Star.

Science and Civilisation in China refleja sólo una vertiente de Needham. Los estantes de la biblioteca del Instituto de Investigaciones Needham de Cambridge están repletos de libros catalogados por temas: bioquímica, religión, política, historia de la ciencia y danzas populares inglesas, uno de sus pasatiempos favoritos. En el curso de su carrera, Needham ha cubierto el Oriente, el Occidente, la ciencia, la religión y el socialismo.

La habilidad para unificar ideas a primera vista dispares la mostró Needham desde muy pronto. Nació en 1900, en una familia conflictiva; fue su niñez un tiempo gastado "en cruzar en barca una y otra vez el brazo de mar que separaba dos porciones de tierra firme". Su padre, médico, le infundió a Needham el amor por la ciencia y la fe anglicana; su madre, música y compositora, le legó "sensibilidad de espíritu".

Para Needham, no existe contradicción entre vivir devotamente la religión y la ciencia rigurosa. El trabajo del estudioso oxoniense R. G. Collingwood le convenció de que son cinco las formas de la experiencia humana: religión, ciencia, historia, filosofía y estética. "Si se tiene una sordera selectiva hacia una de ellas, aparecen problemas", dice Needham.

Sus aficiones socialistas afloraron pronto. Siendo un muchacho, las obras de H. G. Wells y de Bernard Shaw le llevaron a considerar la ciencia y el progreso social como unidos inextrincablemente, y, en 1917, se inclinó por la victoria bolchevique. Su preceptor, amigo de Wells, le ponderó la importancia de la ingeniería y la historia.

Cuando Needham entró en el Gonville and Caius College, de Cambridge, en 1918, pensaba seguir las huellas de su padre (a quien había ayudado ya en algunas intervenciones). Pero el tutor le convenció de que el futuro pasaba por entender las moléculas y los átomos, no la morfología general. Tuvo por profesor al premio Nobel Sir Frederick Gowland Hopkins, y se decidió por el desarrollo embrionario.

En 1924 Needham se integró en el claustro docente del College, al recibir el doctorado. Siete años después publicó una amplia obra en tres volúmenes, *Chemical Embryology*, en

la cual remontaba la historia de la embriología hasta el año 1400 antes de Cristo, cuando el faraón Akhenatón describía el alma en el útero.

Durante los años treinta, Needham había adquirido cierto prestigio profesional en Cambridge y le vemos retratado en la obra de Gary Werskey *The Visible College*. Siempre, no obstante, se mostró calculadoramente cauto para evitar que sus tendencias socialistas salpicaran su actividad académica. En 1939 escribió un libro sobre los Igualitaristas, secta puritana de mediados del siglo XVII que creía en la igualdad política y religiosa, bajo el pseudónimo de Henry Holorenshaw. "Pensé que jamás entraría en la Royal Society si mostraba interés en cosas como ésa", reconoce. "Me permití redactar un prefacio al libro en el cual escribí: 'mi joven amigo Henry Holorenshaw ha hecho algo maravilloso'". Vio cumplido su sueño de entrar en el círculo selecto de la Regia Sociedad en 1941. Honor que compartió, en 1948, la que entonces era su mujer, Dorothy Moyle.

Hacia 1937 las cosas estaban a punto para lo que Needham denominó la gran divisoria. Ese año llegaron de China tres alumnos para estudiar bioquímica. Needham quedó sorprendido al comprobar que sus mentes seguían un pensar científico muy similar al suyo. También le fascinó que muchas de las ideas o instrumentos considerados como adelantos occidentales eran en realidad chinos.

Una de las integrantes del grupo, Lu Gwei-Djen, que se convirtió en su colaboradora permanente y, en 1989, pasó a ser su segunda esposa hasta que murió dos años más tarde, era muy versada en la historia de la ciencia china, afición que debía a su padre. Needham y Lu Gwei-Djen empezaron a pergeñar un libro sobre ese pasado oriental, al tiempo que el británico se aplicaba al estudio del chino. Aunque ya hablaba o escribía griego, latín, francés, italiano y alemán y se defendía en polaco y en español, nunca había abierto una gramática tan extraña, confiesa.

Como pocos científicos dominaban el chino, le pidieron que representase a la Regia Sociedad en una visita a ese país en 1942. Fue nombrado consejero científico de la embajada británica en Chungking. Dondequiera que acudía, siempre hallaba gentes interesadas en la historia de la ciencia nacional. "Así que acabé por recopilar una inmensa cantidad de información", señala. "Y vaya si me sirvió."

Needham empezó a facturar toda suerte de material a Inglaterra y a escribir *Science and Civilisation in China* con su primer colaborador, Wang Ling. Aquellas primeras notas iban a dar mucho de sí, hasta acabar configurándose muy pronto en siete volúmenes "celestiales", estructura que ha persistido, si bien los volúmenes han ido ocupando espacio "terrenal"; el dedicado a la historia de la química, por ejemplo, constará de 14 partes cuando esté terminado.

En 1946 Needham se fue a París a dirigir el departamento de ciencias naturales y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Originalmente se iba a llamar UNECO, pero nuestro hombre convenció a su amigo, el biólogo Julian Huxley, de que añadiera la S de "Science". Trabajó duro para levantar la institución: "Partí de la nada, y al cabo de un año la plantilla era de 600 personas. Fue una tarea pesada y abrumadora. Tuve que entrevistar a gente en el cuarto de baño."

Regresó a Cambridge, a sus clases de bioquímica y a la redacción progresiva de *Science and Civilisation in China*. Fue éste "un período esquizofrénico, porque podía estar trabajando en la estructura de los barcos chinos, por poner un ejemplo, y tenía que dejarlo para explicar la lección sobre el metabolismo del esterol en los moluscos", dice con ironía.

Durante este tiempo, hubo de hacer frente a una ola de intensas críticas. En 1952, participó en una comisión para averiguar si los Estados Unidos habían empleado armas biológicas en la guerra de Corea. Needham y sus colegas setenciaron que así había ocurrido, corroborándolo con pruebas del uso de insectos propagadoras de plagas y ántrax. La inclusión de testimonios de prisioneros de guerra en el informe lo hizo más incendiario.

En reacción, la prensa británica y muchos académicos le condenaron al ostracismo. Asegura que, durante muchos años, no se le permitió la entrada en los Estados Unidos. Pese al rechazo que todavía persiste de aquel juicio, Needham afirma estar contento de su toma de posición. Y niega que los testimonios de los prisioneros de guerra influyeran en las conclusiones.

Needham y otros asimilan las técnicas denunciadas a las empleadas por la Unidad 731, un grupo japonés acantonado en Manchuria durante la Segunda Guerra Mudial. Ese batallón siniestro recurrió a los insectos para convertirlos en vectores de la peste y otras plagas (además de llevar a cabo vivisecciones y otras atrocidades). En 1981 *The Bulletin of the Atomic Scientists* publicó que los miembros de la Unidad 731 no sufrieron persecución tras la guerra a cambio de información sobre la guerra biológica.

El primer volumen de *Science and Civilisation in China* salió a la luz en medio de este ambiente crispado. En aquellos momentos la historia de la ciencia era una disciplina relativamente novedosa, al tiempo que en Occidente se consideraba la china una civilización atrasada. Needham y sus colaboradores, sin embargo, demostraron que el arnés de tiro, el sismógrafo, la brújula magnética, la fundición de hierro e incluso la guerra química procedían de aquella región oriental. El equipo historiador siguió también los pasos de la llegada a Occidente de ese conocimiento.

Aunque la trascendencia del trabajo no ha sido cuestionada, se ha criticado con dureza ciertos aspectos. Se le achaca a Needham que resalte sólo la cara agradable de esa cultura. Otros han denunciado su tendencia marxista a interpretar la ciencia en clave socioeconómica. El apoyo incondicional de Needham al gobierno chino (hasta los sucesos de la plaza de Tiannamen) también propició que muchos le recriminaran su ingenuidad política.

Los suyos o allegados ven las cosas de otra manera, lógicamente. "Joseph ha apoyado a China mucho más que quienquiera que la esté gobernando", comenta Kenneth Robinson, del Instituto de Investigaciones Needham, fundado en 1986. Sus defensores arguyen que la sin par síntesis que Needham hace de socialismo, ciencia y religión le permitieron realizar observaciones de las que otros fueron incapaces.

Pasa los días trabajando en su instituto escaso de personal, en parte voluntario, y en grave riesgo de desaparecer por falta de dinero. La cuestión que ahora le inquieta es resolver por qué la ciencia despegó en el siglo XVII en Europa a pesar del vasto bagaje científico oriental. Needham explica que la naturaleza burocrática de la sociedad feudal china frenó, en parte, el crecimiento de la ciencia moderna. Pero otro aspecto de la conclusión no le produce agrado. "Me parece que la respuesta va a ser que la ciencia moderna nació con el capitalismo", dice. "Y no me gusta eso, porque he sido un socialista toda mi vida."

Ciencia y sociedad

Descubrimiento de América

Los primeros pasos

Hace cinco siglos, en costas insulares de las Bahamas, comenzó uno de los mayores choques entre culturas ocurridos en la historia de la humanidad. O choque de mundos, para hablar con más ajustada precisión, puesto que en él se implicaron también los patrimonios biológicos de dos hemisferios enteros. Durante por lo menos un millón de años, la humanidad había estado dividida en partes que se ignoraban mutuamente: Africa sudsahariana, Eurasia, Australia y las Américas. En aquel octubre de 1492 y en los años sucesivos, trabaron contacto y se fusionaron entre sí las dos porciones mayores del género humano. Una generación después, los europeos veían ya el evento como el inicio de una nueva edad de su propia historia, que venía a poner fin a la que de allí a poco se denominaría la Edad Media.

Un poco la intención y otro poco la suerte situaron en el centro de tal choque a un genovés emigrado que estaba al servicio de los soberanos de España, un Cristóforo Colombo al que se llamaría luego Cristóbal Colón. La cultura a la que pertenecía le saludó como al "descubridor", por haber abierto a ella el acceso a regiones del planeta desconocidas hasta entonces. Sin embargo, los pueblos del "nuevo mundo" no necesitaban ser descubiertos. Habían llegado allá muchos milenios antes y habían aprendido a habitar las más diversas regiones, desde las de hielos perpetuos hasta las selváticas. Habían seguido un itinerario histórico propio suyo e independiente. Habían desarrollado, en distintos países, sociedades estables enteramente equiparables a las europeas, aunque del todo diversas en cuanto a las expresiones culturales específicas.

Colón no conoció esos estados, por más que buscase con ansia la corte del Gran Khan y un lucrativo comercio con el Catay y que creyera haberse acercado a ambas metas. No supo que había entrevisto a los mayas y que había tocado de refilón el imperio azteca (en 1502). En vez del oro de Ofir halló la Edad de Piedra. La humanidad desconocida con que Europa entró en contacto era un hormiguero de salvajes desnudos, "del color de los habitantes de las Canarias, ni negros ni blancos": un mosaico de tribus neolíticas, que no conocían los metales y apenas recogían un poco de oro en los ríos. Una cultura inauditamente extraña y llena de sorpresas, mas, por desgracia, en absoluto aprovechable desde el punto de vista comercial.

Su nombre es el de cultura taíno, para emplear el término étnico general. De ella hablan el mismo Colón y algunos de los doctos que le siguieron en el segundo viaje, en particular fray Ramón Pané, encargado de redactar un informe sobre las cos-



Se ve en esta fotografía una parte de las excavaciones que se están realizando para sacar a la luz La Navidad, el primer campamento fortificado que Colón hizo construir en el año 1492. Como materiales de construcción se emplearon los restos de la Santa María, la nao almirante que naufragó en la isla Española, hoy Haití. (Fotografía Bill Ballenberg/Grazia Neri.)

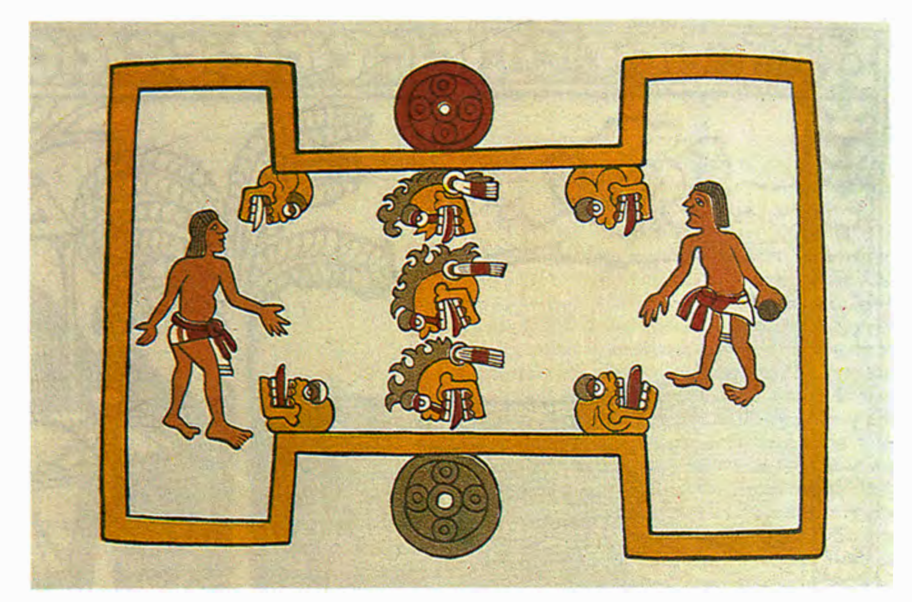
tumbres y creencias de aquellos paganos. Pero, gracias a la antropología y a la arqueología, hoy sabemos o comprendemos muchísimo más, siendo aquella edad de piedra, con que por primera vez se encontró la Europa cristiana, más viva, por así decirlo, actualmente que cuando Colón y los suyos la tuvieron ante sus ojos.

Los taínos habitaban Puerto Rico, la Española (o Haití) y Jamaica. Para el lingüista son pueblos de lengua arawak, emparentados con los indígenas de Venezuela, mientras que para el arqueólogo coinciden ampliamente con la tradición chicoide (así llamada del yacimiento de Boca Chica, próximo a Santo Domingo). Patria de esta muy difundida cultura es la República Dominicana, desde la cual, en los cinco siglos anteriores a 1492, estas gentes habían propagado por todo el arco de las Antillas un modo de vivir plenamente neolítico.

Tratábase, en efecto, de sociedades tribales sedentarias que vivían de la horticultura y la pesca. A la mandioca y a otros tubérculos apenas si se había añadido el maíz, y el pan de mandioca se cocía sobre unas planchas de arcilla. La recolección de moluscos marinos proporcionaba alimento suplementario y, a la vez, conchas para elaborar muchos objetos menudos. Las vasijas de terracota se adornaban con incisiones y con rostros en relieve. "Tienen cuchillos de piedra —narra Colón— pero que cortan como los verdaderos; con ellos ahuecan troncos de árboles y dan forma a unas embarcaciones llamadas *canoas,* capaces de soportar hasta cien o 130 hombres".

La navegación a lo largo de las costas y entre las islas era una actividad fundamental. Pero había también toda una red de relaciones, intercambios y acaso recíprocas incursiones, que unía con las comunidades de tierra adentro, siguiendo caminos tradicionales a través de las selvas y de las cadenas montañosas. La mayor parte de la población vivía en aldeas de chozas, rodeadas a veces de terraplenes. Poblados y tribus eran regidos por jefes de rangos diversos a los que se denominaba *caciques.*

La existencia entera estaba entreverada de una intensa actividad ceremonial. Los ritos giraban en torno al culto de los *zemi*, espíritus de forma animal o humana vinculados a los ascendientes y al calendario agrícola. Se hacían imágenes de los *zemi* de piedra, arcilla, madera, conchas y hasta de algodón. Las ceremonias no sólo se celebraban en unas cabañas especiales y en cavernas, sino que comportaban la construcción de grandes recintos o patios (*plazas*) destinados al juego de pelota y a la danza ritual. Con frecuencia se erigían monolitos historiados. En los lugares sagrados a cielo abierto cubríanse las rocas de petroglifos.



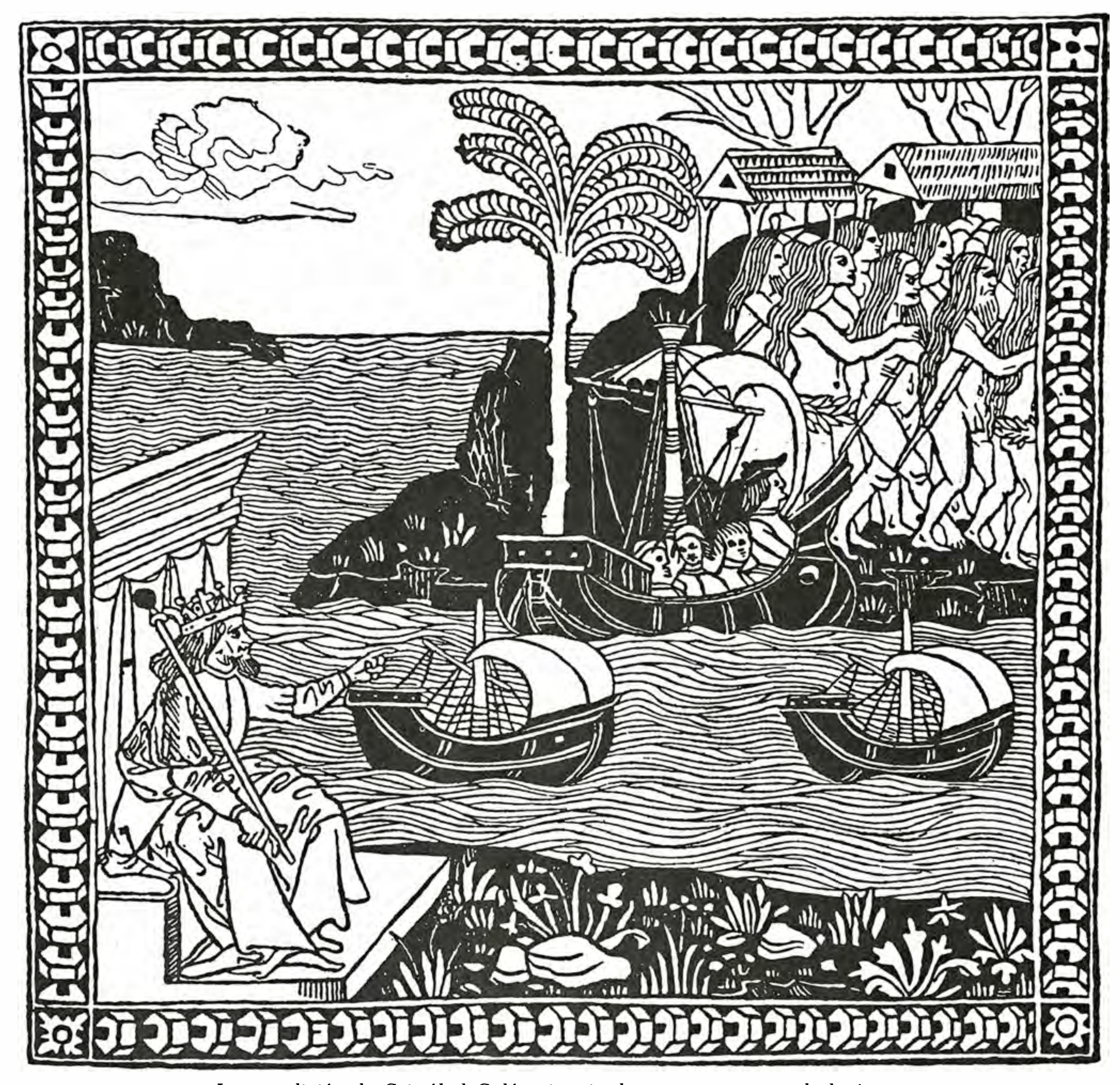
El juego de la pelota era muy practicado en los pueblos de Hispanoamérica, que sabían aprovechar las propiedades del caucho o látex del Hevea brasiliensis, *el 'árbol de la goma'. La ilustración procede del Códice Magliabechi.*

Los taínos habían recibido y reelaborado un conjunto de ritos y cultos derivado de Sudamérica (no, como antes se creía, de la América Central) y común a gran parte del mundo de lengua arawak. El proceso de expansión ceremonial y artística de los "indios" chicoides por el Caribe estaba llegando a su apogeo precisamente al arribar los europeos. Estaba, más bien, produciéndose una infiltración demográfica en islas escasamente habitadas o todavía desiertas, como Cuba y el archipiélago de las Bahamas.

En las Bahamas, una especie de Polinesia atlántica, los grupos taíno dieron vida en aquellos siglos a una cultura afín llamada lucayo, que la arqueología distingue por sus vasijas de terracota blanda, rojiza y gruesa, llena de conchillas trituradas (cerámica palmar). En la economía, en las relaciones políticas y en los ritos, el mar había llegado a tener para las tribus lucayas una importancia preponderante. En la época de Colón se iba estableciendo una compleja red de intercambios entre las Bahamas, las Antillas y la península de Florida. Fue entre los isleños lucayos donde arribaron las carabelas aquel día de octubre: ellos fueron quienes tomaron a los recién venidos por unos dioses o seres celestiales antes de darse



Este excepcional ejemplar de zemi, un ídolo de los taíno de Santo Domingo, está hecho de algodón entrelazado y tejido e incorpora elementos cránicos de un antepasado. Se conserva en el Museo de Antropología de la Universidad de Turín. (Foto Associazione Amici del Museo).



La expedición de Cristóbal Colón sintetizada en una estampa de la época.

cuenta de que no eran sino vulgares seres humanos.

La arqueología de los pueblos arawak ha hecho grandes progresos. Pero en los últimos años las investigaciones han empezado a revelar nada menos que el primer contacto entre "indios" y europeos. Los resultados más llamativos suscitan la emoción que se experimenta al hojear —foto tras foto— un álbum de familia hallado en el desván. La anotaciones de Colón y los datos arqueológicos se infunden vida recíprocamente. Concuerdan, por lo demás, con las simulaciones de ruta hechas con ordenador en el Instituto Oceanográfico de Woods Hole (Massachusetts) a través de los valores medios de las corrientes y de los vientos oceánicos.

¿Dónde está Guanahaní o "San Salvador", la isla del primer desembarco? No puede ser otra que Watling. Desde 1983 Charles Hoffman, de la Universidad de Arizona del Norte, está excavando, en Long Bay, el poblado lucayo a pocos metros del cual desembarcó Colón. Es el único sitio de las Bahamas en el que aparecen baratijas españolas entremezcladas con restos de la cultura indígena datables como anteriores al 1500: un puñado de trozos de tiesto, cuentas de vidrio verdes y amarillas, una hebilla de cinturón, una moneda acuñada entre 1471 y 1473. Precisamente lo que Colón les dio a los nativos durante su breve estancia.

Encima de Long Island, que indudablemente se ha de identificar como "Fernandina", William Keegan, de la Universidad de la Florida, ha creído distinguir el laguito donde los españoles se aprovisionaron de agua dulce, exactamente localizado respecto a las dos aldeas que Colón visitó. Con un brillante trabajo de investigación iniciado en 1982, Keegan y sus colaboradores han ido rastreando luego los pasos de Colón por las islas Acklins y Crooked, que con algunas otras forman una gran C en torno a una zona de abundantes bajíos.

Allí el 19 de octubre de 1492, con los guías lucayos tomados en San

Salvador, se detuvo Colón en la "ciudad" de un "gran jefe" local, que las excavaciones están sacando a la luz como el más vasto asentamiento lucayo de las Bahamas y como centro de un comercio de largo alcance (bien conocido, por ende, en todo el archipiélago). No basta: el lugar donde los españoles mataron una "serpiente" de una especie nunca vista, de casi dos metros de larga, corresponde a un gran poblado en el que se han hallado los únicos huesos de cocodrilo que se ha podido sacar a la luz en las Bahamas.

¿Y los caníbales? Volviendo a atravesar el océano con 17 naves y 1200 colonos en noviembre de 1493, Colón y sus compañeros tropezarían inesperadamente con una horrible y envilecedora realidad que contrastaba al máximo con su soñado ideal de las Indias. En las Antillas Menores fueron a parar a un poblado desierto que estaba lleno de carne humana: sus habitantes, que habían salido huyendo, eran los depredadores *cariba*, según dijeron algunos jóvenes arawak allí aprisionados como reses de engorde. Los españoles no olvidarían aquel nombre: *caribal* se transformó en "caníbal". En la vecina isla de St. Croix se ha encontrado una figurilla de terracota que parece representar a un español guarnecido con yelmo.

El recorrido arqueológico va siguiendo no menos de cerca los vestigios del primer contacto por los terrenos de la Española. El imponente poblado del *cacique* taíno Guacanagarí, junto al cual dejó Colón 39 hombres al final de su primer viaje, está saliendo a la luz en la localidad de En Bas Salino, cerca de Cap-Haïtien. No aparece aún "La Navidad", el fortín construido el día de Navidad de 1492 con los restos de la nao almirante, ni aparecen los cuerpos de los europeos que allí fueron despedazados, pero sí el enorme terraplén en forma de U, las cabañas con materiales indígenas y, entre estos, los primeros vestigios de Europa: vasos venecianos, campanillas de cobre, una moneda *blanca* de Fernando e Isabel de España, los huesos de un cochinillo.

Integramente encontrada lo está, en cambio, "La Isabela", en la costa norte de Santo Domingo. Primero José Cruxent, el decano de la arqueología venezolana, y después el equipo dirigido por Kathleen Deagan, del Museo de Historia Natural de la Florida, han hecho reaflorar la planta, las manufacturas y los muertos de la primera ciudad europea de las Américas, fundada solemnemente el 2 de enero de 1494. He ahí el palacete de Colón, con la torre de piedra y el alto muro en torno. He ahí la iglesia, el polvorín, el almacén de 36 metros de longitud, con las acostumbradas cubiertas de tejas que se fabricaron en un horno provisional allende la bahía.

Los objetos son elocuentes: balas de cañón, piezas de corazas de acero, cubetas de mercurio para fundir el oro ("este oro bendito"), un crucifijo, pendientes de concha intercambiados con los taínos. En el cementerio, el antropólogo dominicano Fernando Luna Calderón ha encontrado a los piadosos cristianos con los brazos cruzados sobre el pecho, víctimas de la fiebre, de los parásitos y de la sífilis, pero también a los rebeldes ajusticiados y sepultados boca abajo.

Cuando aún no había transcurrido un mes entero desde la fundación, ensangrentaba ya la ciudad la primera de numerosas revueltas. Probablemente la impreparación cultural de los colonos europeos para una dieta escasa en proteínas y basada en pan de mandioca sería un factor decisivo a la hora de atizar el descontento y la rebelión. Además, muy pocos tenían la resistencia física y moral de Colón. Raras veces llega a ser la historia tan tangible —y triste— como en este lugar, junto al cabo Isabela.

De los testimonios arqueológicos, en su conjunto y en los detalles, emerge allí una historia realista que ayuda a calibrar mejor al hombre que fue Colón y su aventura, ilustrando también la cultura llevada y la hallada. Pero, ¿cómo enjuiciar los hechos de aquel entonces en estos años nuestros en los que el europeísmo y el etnocentrismo se han venido abajo? ¿En esta rebelión planetaria contra los abusos del hombre europeo?

Colón u otro europeo cualquiera habría arribado a América en aquellos decenios de interdependencia mercantil sobre los mares. Los "conquistadores" que desembarcaron en el continente llevaron a efecto después de Colón el programa que éste apenas había esbozado, con lo que pusieron en marcha aquella tormentosa fusión de hemisferios que todavía prosigue. Pero si esto redimensiona a Colón como figura histórica, no hay que olvidar que el Viejo Mundo encontró al Nuevo en la persona de este hijo suyo ejemplar: de este mercader visionario y paranoide, experto en el mar como pocos otros, religioso, inflexible y oportunista, perfecto microcosmos de una Europa cargada de virtudes y de defectos.

Puede que sea este el sentido en el que se ha de recordar a Colón: en las contradicciones de su cultura más que en las de su carácter; sin que por eso haya que deificarle (como hace un siglo) o que denigrarle. Por un lado, Colón y su empresa siguen siendo un excelente observatorio para examinar una cultura y una época en el curso de las vicisitudes de Europa. Pero un tema de igual importancia, y aun de mayor novedad, pues en las celebraciones de 1892 todavía no era abordable, es el de considerar lo que ocurrió hace cinco siglos como un capítulo de la evolución humana. Un capítulo inevitable, una gran transición forzosa de nuestra especie en el proceso de poblamiento físico y cultural del globo terráqueo. Desde este punto de vista, no erraba Colón al tenerse a sí mismo por ejecutor de una Providencia que le dirigía y le trascendía. (Francesco Fedele.)

Presentes traídos de América

Flora y fauna

La migración de las especies, animales y vegetales, es un hecho natural que posibilita la expansión de los seres vivientes por todo el planeta. Pero difiere en el mecanismo empleado. Los animales se valen, sobre todo, del movimiento; las plantas aprovechan el viento, el agua o también los animales, que transportan semillas y porciones de plantas sobre la piel, sobre las plumas o enredadas en el pelo.

El hombre ha promovido también la difusión de plantas "nuevas" de una región a otra, con las corrientes migratorias de los pueblos desde tiempos prehistóricos, con el intercambio mercantil, sobre todo de frutos y semillas, en tiempos más recientes. A estas intervenciones se debe la difusión consciente, por ejemplo, de numerosas plantas de interés alimentario, industrial, farmacéutico, de las llamadas "especias", desde sus naturales centros de origen y de diversificación, pero también la propagación inconsciente de enfermedades, de agentes patógenos, de parásitos de las plantas, de los animales y del hombre.

Al descubrirse América, el conquistador europeo halló ante sí todo un tesoro de especies vegetales útiles o potencialmente aprovechables y también de valor estético. Pero entre las "novedades" no faltaron, por desgracia, especies —prevalentemente

fungíneas— en general parasitarias de plantas y animales, terrestres y acuáticos.

Sin olvidar, por lo demás, que el patrimonio de diversidad biológica (en plantas, animales, insectos, microorganismos, hongos) del que abundan sobre todo las selvas tropicales (por ejemplo, las de la Amazonía) está todavía en buena parte por explorar.

Pero, hasta la fecha, ¿en qué ha cambiado el cuadro botánico, y en menor medida el zoológico, del Viejo Mundo? ¿De qué formas, antes excluidas de él, se ha enriquecido?

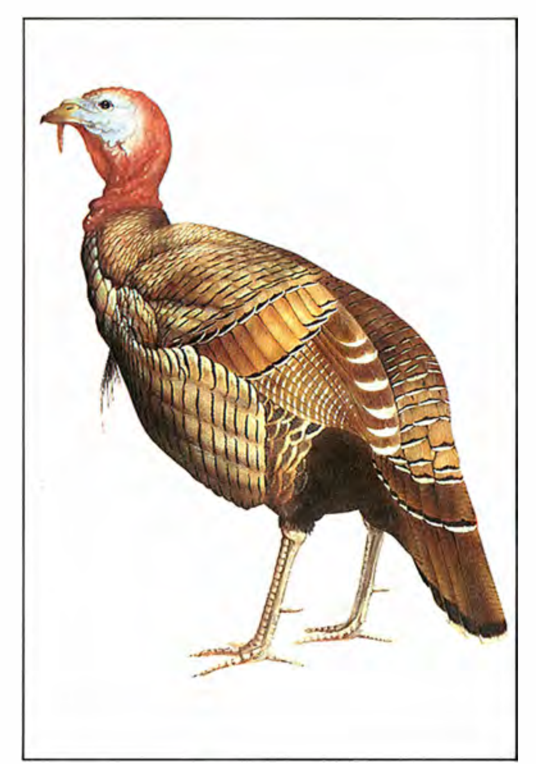
Es largo el elenco. Entre las plantas forestales hay latifolias: el nogal negro de Norteamérica, ornamental pero también apto para injertarlo beneficiosamente en los nuestros y para la repoblación; el roble rojo; el álamo del Mississipi (*Populus deltoides*), introducido en Europa a finales del siglo XVII, empleado en cruzamientos con el chopo para producir híbridos de crecimiento rápido; y la *Robinia pseudoacacia*, la especie arbórea más difundida de cuantas provienen de América, que llegó a Francia a comienzos del s. XVII y sólo dos siglos después se introdujo en Italia, utilizándose principalmente para consolidar terrenos movedizos y hacer terraplenes. Entre las numerosas coníferas: la *Araucaria*, originaria de la América Meridional, utilizada con fines ornamentales en parques y jardines; los norteamericanos *Douglasia* o abetos de Douglas y el pino de Monterrey (*Pinus insignis* o *radiata*) que pueden alcanzar dimensiones colosales y se usan para la repoblación (hay grandes extensiones de ellos en los Apeninos) y para el suministro de materia prima a las fábricas de papel, dado su rápido crecimiento; el pino albar, el alerce occidental, el ciprés de California (*Chamaecyparis lawsoniana*), común como planta ornamental, y la gigantesca *Sequoia*, esta también norteamericana y frecuente ahora en los parques europeos. Añádanse las tuyas y los cipreses, para los cuales valga el ejemplo del ciprés de Arizona, utilizadísimo en repoblación o para formar setos y vallas rompevientos, así como también con funciones ornamentales.

De las plantas de cultivo introducidas, entre las provenientes de Norteamérica, las principales son, sin duda, el maíz (*Zea mays*, cultivado por lo demás en todo el continente americano) y el girasol (*Helianthus annuus*), demasiado conocidas ambas como para que tengamos que describirlas aquí; pero cabe recordar otro helianto (*H. tuberosus*), "tupinambo", pataca o "patata de caña", que se empezó a cultivar en los Jardines farnesianos del Palatino con el nombre de 'girasole articocco' y que, introducido en 1617 en Inglaterra, se llamó *Jerusalem artichoke*, aunque nada tenía de alcachofa ni provenía tampoco de Palestina; varias plantas forrajeras, como algunas especies de *Poa* y de *Agrostis*, la "hierba algodonera" (*Asclepias syriaca*), cuyas simientes llevan un largo plumero semejante al algodón, por lo que se las utiliza en acolchonaduras; el espino de Judas (*Gledistia triacanthos*), empleado desde el siglo XVIII para formar setos y rebordes; y una serie de *Vitaceae*, desde el *Parthenocissus quinquefolia*, la muy difundida vid del Canadá, que en otoño colorea de carmesí los emparrados y muros por los que cuelga y trepa, hasta las *Vitis berlandieri*, *labrusca*, *riparia* y *rupestris*, empleadas en Europa no por su uva, sino porque, mediante una serie de hibridaciones, han proporcionado a la viticultura europea valiosos pies de injerto gracias a los cuales —dada su resistencia a la filoxera— se ha podido salvar el cultivo de la mucho más apreciada (para uva de mesa y de vinificación) *Vitis vinifera* europea.

La filoxera (*Phylloxera vastatrix*), insecto parásito de las raíces, llegó a Inglaterra en 1863 y se propagó luego por toda Europa, apareciendo en la Lombardía en 1879, desde donde se extendió por Italia entera asolando los viñedos, atacados simultáneamente por otras dos criptógamas de origen americano: la peronospora, aparecida en Europa y en Italia por los años 1878-1880, y el oídio, que estaba ya en Europa desde 1845. (De Francia, la filoxera pasó a España, donde arrasó los viñedos del Penedés y otros.)

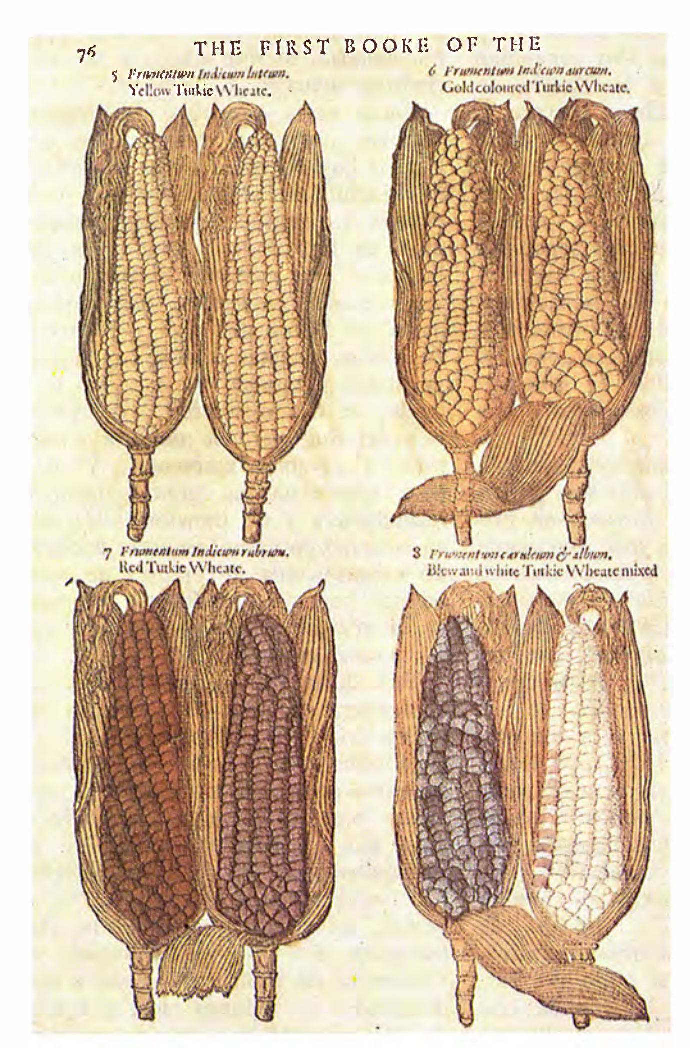
Entre los otros parásitos de procedencia americana que ocasionan particular daño se cuenta un grupo de insectos: la dorífora de la patata, que, llegada a Europa a finales del s. XIX, aparece en Italia sólo en 1943, en el Piamonte, transportándola allá algunos convoyes de tropas alemanas que venían de Francia; el piojo rojo del manzano (visto en Liguria en 1841), el cínife del plátano (en Italia desde 1964), el aleurodes flecoso —aparecido en esa península en 1969— que pincha los agrios y forma en ellos colonias cerosas; la hormiga argentina, en Italia desde comienzos de este siglo, que penetra en las casas, en los muebles, etc. y que la ley obliga a combatirla.

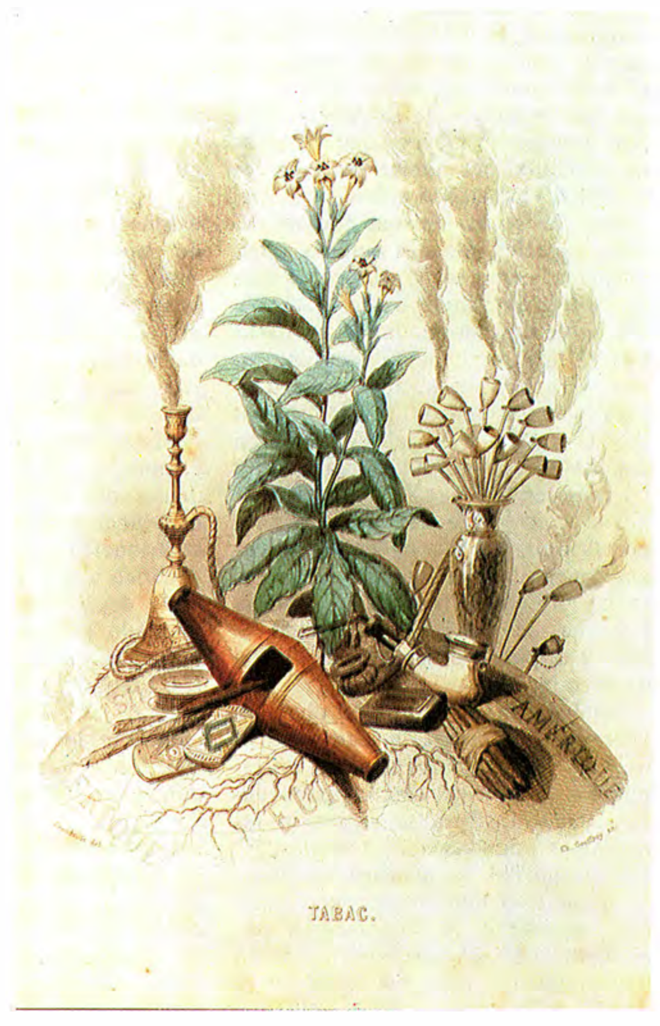
Entre las plagas criptogámicas citaremos la peronospora de la patata, que fue responsable de graves cares-





El pavo fue uno de los primeros animales útiles traídos a Europa. A la derecha, en un grabado de 1754, robinia y bisonte (Bison bison), *dos especies típicas de América, como el maíz (en una estampa de 1590) y el tabaco (en una vieja alegoría popular).*





tías en Irlanda a mediados del siglo pasado, junto con la peronospora del tabaco, llegada a Italia hacia mediados del siglo actual.

Sin embargo, por equidad hay que decir, al menos, que de América proceden también, introducidas gracias a meritorios investigadores, especies que parasitan a su vez y destruyen a los antedichos parásitos dañosos, fomentando la lucha biológica. Ahí están, por ejemplo, tres avispillas: la *Edovum puttleri*, parásita de los huevos de la dorífera de la patata, descubierta en Colombia en 1980, el gorgojo del manzano, originario de Norteamérica e introducido en el siglo XX en Europa, que lucha contra el piojo sanguíneo que infesta ese frutal; y el *Cales noacki*, enemigo del aleurodes flecoso de los agrios.

Si volvemos ahora la atención hacia otras plantas útiles, podemos citar como procedentes de América Central: el pimentero, que Colón mismo habría llevado a España de vuelta de su primer viaje, junto con los primeros especímenes de boniato o patata dulce (*Ipomoea batatas*); el utilísimo algodón (*Gossypium hirsutum*) planta textil y aceitera; dos especies de fríjoles, el *Phaseolus vulgaris* y el *P. coccineus*; la higuera de Indias (*Opuntia ficus indica*), la pulpa de cuyos frutos es de colores varios y en su modalidad de chumbera caracteriza actualmente muchos paisajes del área mediterránea, proviniendo (lo mismo que otras especies de este género de *Cactaceae*) de las zonas áridas y semiáridas de las Américas Central y del Sur. Entre las plantas ornamentales: la pita o agave americana, la más conocida de las *Agavaceae* introducidas en Europa, de cuyos tallos florales sacan los indios el aguamiel (bebida azucarada), comunísimo hoy en nuestros litorales; las dalias y los tagetes, plantas mejoradas sobre todo por los floricultores holandeses y comercializadas en la actualidad de muchos modos, con gran variedad de coloridos y dimensiones de sus flores. La acacia (*Acacia farnesiana*), llamada así porque su larga y perfumada floración fue admirada por primera vez en los Jardines farnesianos del Palatino, donde se la introdujo traída de Santo Domingo.

América del Sur ha contribuido notablemente a enriquecer las disponibilidades alimentarias del mundo. Además de variedades seleccionadas por los agricultores locales de especies presentes también en América Central, como el maíz, el fríjol y el pimentón, entre las plantas más propiamente originarias del continente sudamericano hay que mencionar ante todo la patata, el tomate, la berenjena, el cacahuete. La mayor variabilidad genética de la patata y del tomate se encuentra en las regiones andinas; la patata empezó a cultivarse en la Italia septentrional sólo a comienzos del siglo XIX, y el tomate se ha aclimatado tan perfectamente en Italia que, gracias a los trabajos de mejora genética y de su cultivo, este país es su tercer productor mundial (cerca de 6 millones de toneladas al año), después de los EE.UU. y de la ex-Unión Soviética, siendo Europa, desde luego, el más importante territorio de cultivo de tal producto en cifras absolutas. El cacahuete es originario de la zona brasileño-paraguaya; se le llama aráquida en castellano por carecer sus flores de pedúnculo ('raquis'), mientras que en inglés se le denomina *ground-nut*, 'nuez terránea', debido a

que, tras la fecundación, su ovario se alarga y, por un fenómeno de geocarpia, penetra varios centímetros en el suelo, donde sus frutos maduran y son recolectados. De la América del Sur provino el tabaco, que tanto se ha difundido por numerosas regiones de clima templado o subtropical. Del género *Nicotiana* existen más de sesenta especies, algunas también ornamentales, como la *N. glauca*, y otra de cultivo intensivo, como el tabaco (*N. tabacum*), cuyas hojas se destinan al hoy recriminado vicio de fumar, y la *N. rustica*, apta sobre todo para la extracción de nicotina. Semillas de la planta del tabaco le fueron donadas, hacia 1560, al embajador francés en Portugal, Jean Nicot, quien, convencido de que el aspirar por la nariz tabaco en polvo producía beneficiosos efectos terapéuticos, se las ofrendó a la reina de Francia Catalina de Médicis, de donde le vino a la planta el nombre de "yerba de la reina".

También la fruticultura ha obtenido ventajas. Recuérdese, a este propósito, la *Fragaria chiloënsis*, del cruzamiento de la cual con especies euroasiáticas de fresa se derivaron las modernas variedades de fresones.

Y, asimismo, la industria jardinera se enriqueció con interesantes especies originarias de Sudamérica; por ejemplo, con el nasturcio o berro mastuerzo (*Tropoeolum maius*); el dondiego de noche (*Mirabilis jalapa*), cuyas flores se abren durante el crepúsculo vespertino y permanecen abiertas toda la noche, probablemente introducido en Europa a comienzos del siglo XVI, traído de las montañas de Perú; la fidulaca, de decorativo follaje y rapidísimo desarrollo, y, por sus bayas rojas, llamada 'uva de América' o 'sanguinilla'; la pasiflora o 'flor de la Pasión' o 'Pasionaria', porque los estambres y estilos de su extraña flor recuerdan los instrumentos de la Pasión de Cristo: clavos, martillo y corona; y, en fin, el jacinto de agua u orquídea acuática (*Eichhornia crassipes*), originario también de la América Central, planta de adorno pero que, en algunos casos, por su gran capacidad de multiplicación, infesta lagos y ríos, hasta el punto de obstaculizar la navegación fluvial, calificándosela por este motivo en América como 'la devastadora del millón de dólares', pues tan altos son los costes de su control.

Mucho menos numerosas son, en cambio, las especies animales procedentes de América. Destaca en primer lugar el pavo, la más importante contribución avícola y zootécnica de América a la economía mundial, presente desde el Canadá hasta México y criado por los indígenas, que degustaban sus carnes, lo usaban para los sacrificios y se servían de sus plumas como ornamento y decoración. Por los años 1520-1525 llegaron los primeros pavos a España, donde se los llamó pollos o pavos de Indias, y diez años después fueron introducidos en Lombardía y en la Campania, dándoseles el nombre de pollos 'd'India' o 'dindio', de donde se derivaría el francés *dindon*. El nombre *turkey*, o pollo de Turquía, se debería a la opinión que entonces burdamente identificaba con la Turquía toda el Asia occidental, hasta la India, y confundía con ésta las tierras descubiertas por Colón, llamándolas por eso 'las Indias'. Algún tiempo después, los "Padres Peregrinos" llevaron a Norteamérica cepas seleccionadas en Inglaterra y en los Países Bajos, las cuales, cruzadas con determinados ejemplares silvestres americanos, y mediante prácticas de mejoramiento cada vez más perfeccionadas, dieron origen a las variedades actuales.

Entre otras especies de interés también comercial introducidas en Europa hay que mencionar: la nutria, la chinchilla, el visón americano y el cobaya o conejillo de Indias. Mentemos, en fin, al capibara ("señor de la noche" en guaraní), el mayor de los roedores existentes, que supera hasta los 50 kg de peso, y se nutre de hierbas, plantas acuáticas y restos vegetales, habitando en las zonas húmedas de Centroamérica y de América del Sur, pero se muestra adaptable a diversos ambientes. Y así, para aprovechar su gran capacidad reproductiva y de transformación de su sustento en carne, se están haciendo experimentos de crianza de este animal, con miras también a mejorar su adaptación y sus prestaciones en los países en desarrollo.

Una destacada contribución a la acuicultura europea la representa la trucha irisada (o 'trucha arco-iris'), de enorme interés comercial; de procedencia americana es también el esturión blanco, aunque su reproducción aún es problemática. Muy a propósito para la pesca deportiva son, sobre todo, la trucha y el sollo persas, así como varias especies de pez-gato; este último, importado a comienzos de siglo, ha llegado a ser devastador en algunos ríos, a causa de la voracidad con que se engulle las ovas y los alevines de otros peces. Merece citarse también la gambusia, introducida en los años veinte para combatir la malaria, pues es un voraz enemigo de los mosquitos.

Aquí sólo hemos hecho referencia a unas cuantas de las más importantes especies vegetales y animales que se han aclimatado en Europa, donde han contribuido a modificar el paisa-

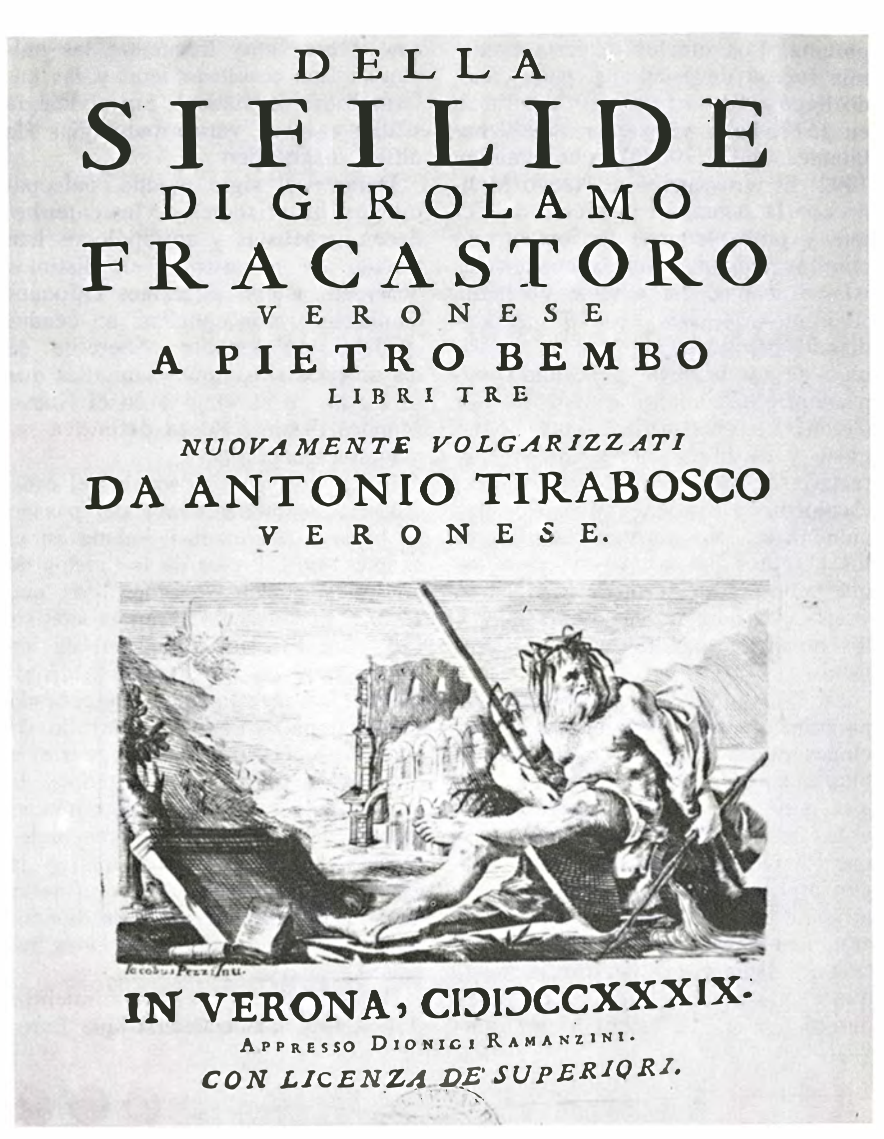




Pareja de doríforas, el temible parásito de la patata, llegado a Europa muchos años después de la importación del tubérculo. A la derecha, ejemplares de capibara, roedor americano de gran tamaño que parece resultar muy rentable en zootecnia.

je, la producción y la economía agrícola, así como las costumbres alimentarias; de la lista de todo lo que nos vino de América después del descubrimiento hemos excluido adrede las especies expuestas como rarezas en los jardines botánicos y zoológicos. Podríamos añadir muchas más, algunas tan afamadas como el ananás o piña americana, la mandioca o cazabe. A veces, hemos citado tan sólo una, por lo general la más común, entre las especies de un mismo género procedentes del Nuevo Mundo e introducidas en el Viejo. Igualmente, en cuanto a sus zonas de origen, la indicación de la procedencia de una de las grandes áreas geográficas de América (norte, centro y sur) es genérica y sólo orientativa.

Los europeos se encontraron —según se va documentando cada vez mejor— ante unas culturas que poseían avanzados conocimientos en varios campos del saber y de la técnica. Por ejemplo, las poblaciones agrícolas eran antropológicamente maduras; en ellas, a lo largo de los siglos, se había ido efectuando, entre otros, un trabajo de domesticación de plantas y animales comparable al que tantas generaciones de agricultores llevaron a cabo en el Viejo Mundo eurasiático. Compárese, en efecto, la selección y la adopción de plantas suministradoras de principios nutritivos esenciales como hidratos de carbono y proteínas: maíz y patata en las Américas, trigo y cebada en el Viejo Mundo; guisantes, habas, garbanzos y lentejas en éste, fríjoles en aquél; y asimismo: hortalizas de hoja (berzas, lechugas, etc.) a este lado del Atlántico, y tomates y berenjenas al lado de allá. (Gian Tommaso Scarascia Mugnozza.)


DELLA
SIFILIDE
DI GIROLAMO
FRACASTORO
VERONESE
A PIETRO BEMBO
LIBRI TRE
NUOVAMENTE VOLGARIZZATI
DA ANTONIO TIRABOSCO
VERONESE.
IN VERONA, CIↃIↃCCXXXIX.
APPRESSO DIONIGI RAMANZINI.
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

La primera aparición epidémica de la sífilis en Europa tuvo lugar en Nápoles el año 1494, probablemente contagiada por alguno de los marineros de Colón. Sobre estas líneas vemos el frontis de una reedición del tratado de Girolamo Fracastoro que versa sobre esta enfermedad. (Tomado de I medici scrittori dal XV al XX secolo*, Editalia, Roma, 1977.)*

Trueque siniestro

Sífilis americana por viruela europea

El viaje que hace quinientos años llevó a Colón y a sus noventa marineros allende el océano Atlántico tuvo diversas consecuencias para el desarrollo social y económico del mundo occidental, pero su resultado más inmediato y dramático fue, ciertamente, la rápida redistribución geográfica de las enfermedades contagiosas. Por la nueva ruta empezaron a viajar también los gérmenes patógenos que había en ambos continentes, con lo que en breve se produjo la última fase de la "unificación microbiana del mundo".

La llegada de los europeos equivalió a un tremendo "choque biológico", esto es, a un trastorno total del ambiente selectivo de las poblaciones amerindias, las cuales, perdida su antigua inmunidad natural al enfrentarse a los principales agentes infecciosos aportados por los españoles, fueron agredidas por una avalancha de gérmenes patógenos. En el transcurso de un siglo, nueve décimas partes de los habitantes de las Américas Central y Meridional murieron a causa de graves epidemias de viruela, sarampión, peste y gripe.

La viruela aparece por primera vez en la Española en 1518, dejando con vida a sólo un millar de nativos, y pasa a México con la expedición que en 1520 se une a Cortés. Desde Nueva España la epidemia se difundió por Guatemala y prosiguió hacia el sur, llegando al Perú en 1525 o 1526. La enfermedad desestabilizó el imperio inca, matando a Huayna Capac, el Inca reinante, y desencadenando luchas intestinas que favorecieron la empresa de Francisco Pizarro y Diego de Almagro. Estos, en 1531, con menos de 200 hombres, consiguieron ocupar un imperio de 10 millones de habitantes y un ejército de 50.000 guerreros. Al paso de la viruela le siguió el sarampión, que infestó México y Perú por los años 1530-1531. En 1545 otra epidemia de viruela acabaría con la vida de 800.000 hombres, y durante la de 1576 perecieron dos millones más.

Pero la primera enfermedad de origen europeo que atacó a los indios de América fue causada, probablemente, por un germen de la fiebre

porcina. Los efectos de esta epidemia fueron devastadores, pues cuando llegó a Santo Domingo la viruela, en 1518, halló ya sólo a 10.000 habitantes, del 1.100.000 que eran en 1492. El virus arribó al Nuevo Mundo con la segunda expedición de Colón, y probablemente fue embarcado con los animales domésticos en las islas Canarias. La terrible epidemia se inició a finales de 1493, coincidiendo prácticamente con la fundación de La Isabela, el segundo emplazamiento hecho construir por Colón. La enfermedad, muy contagiosa y de breve incubación, se caracterizaba por una elevada fiebre, escalofríos y tiritona y mucha postración física. No perdonó tampoco a los hombres del Almirante, pero los que morían de un modo rapidísimo y en tanto número que impresionó a los mismos españoles eran los indígenas.

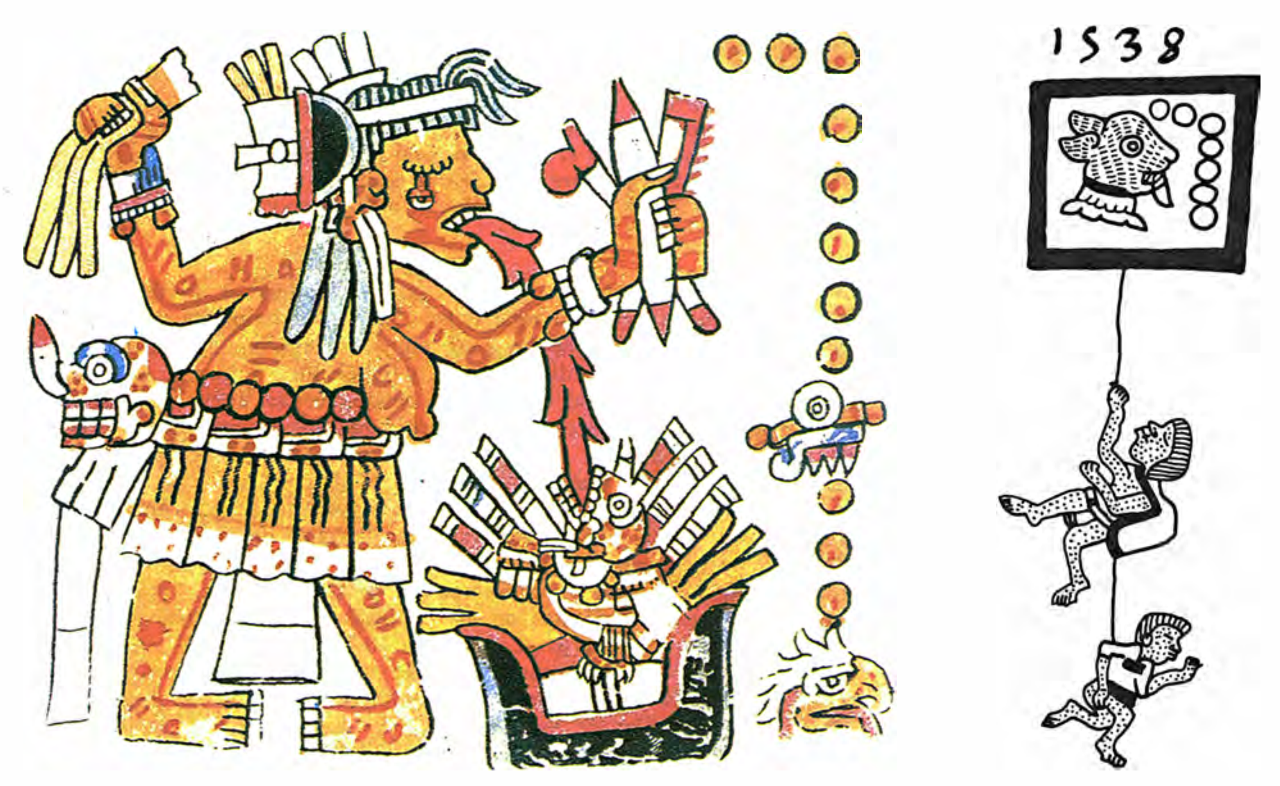
En este punto surge espontánea la pregunta de por qué aquellas poblaciones presentaban un sistema inmunitario en precario. Pregunta muy lógica, puesto que los datos arqueológicos y los relatos de la época nos dicen que los indígenas no gozaban de ningún privilegio desde el punto de vista sanitario. Diarreas y disenterías eran endémicas, así como las infestaciones helmínticas intestinales (aunque la variedad de gusanos parásitos parece menor que la del Viejo Mundo), y eran muy frecuentes las pulmonías con resultado letal y las enfermedades reumáticas. Sin olvidar la sífilis y otras varias patologías de difícil diagnóstico.

Durante el siglo pasado, paleopatólogos, historiadores de las enfermedades, genetistas y antropólogos han tratado de reconstruir, en distintas ocasiones y con diferentes enfoques empíricos y conceptuales, un cuadro epidemiológicamente coherente de las diversas situaciones sanitarias que se dieron en el Viejo y en el Nuevo Mundos después de su definitiva separación geográfica.

Hasta hace pocos decenios el estudio de las enfermedades del pasado se basaba casi exclusivamente en el examen morfológico de los restos de tejidos, esqueletos y coprolitos que se iban encontrando, y en el análisis filológico e histórico-cultural de los textos y de las obras de arte disponibles. La investigación ha cobrado nuevo impulso con el desarrollo de las tecnologías diagnósticas puestas a disposición por la inmunología y la ingeniería genética, que permiten el empleo de nuevos marcadores biológicos (sobre todo moleculares) y la ideación de nuevos y más eficaces modelos interpretativos de la dinámica evolutiva de las enfermedades humanas.

Basándose en los conocimientos disponibles, puede decirse que Europa, a la hora de su encuentro con el Nuevo Mundo, estaba fuerte y resistente, por haberse *globalizado* ya los agentes patógenos que había en su seno. Durante el Medievo, y con súbita aceleración en el transcurso de los siglos XIV y XV, la peste había ido marcando las últimas etapas de un proceso que había llevado, en los países euroasiáticos, a un provisional equilibrio en la distribución geográfica de las enfermedades infecciosas. En el Viejo Mundo habían podido mantenerse tanto los agentes infecciosos que, transmitidos verticalmente, venían acompañando al hombre desde sus orígenes filogenéticos —por ejemplo el plasmodio de la malaria, las bacterias piógenas comunes y la mayor parte de los parásitos intestinales— como las enfermedades infecciosas transmitidas horizontalmente al hombre durante el Neolítico por los animales domésticos —por ejemplo, la tuberculosis, las fiebres eruptivas agudas de poxvirus y, probablemente, también el sarampión. Estos agentes infecciosos no se habían desarrollado originalmente en Europa, sino en Africa o, más verosímilmente, en Asia, desde donde se expandieron con los movimientos de los pueblos.

Algunos de estos pueblos emigraron también al continente americano, en sucesivas oleadas, pasando por el puente de tierra firme que, aproxima-



La diosa Chihuateotl, dispensadora de crisis convulsivas, catarros y úlceras. A la derecha, figuración simbólica de la epidemia de viruela del año 1538. Ambas imágenes han sido tomadas de La medicina dell'America precolombiana. *Ciba-Geigy edizioni, 1987.*

damente entre 70.000 y 10.000 años ha, se había formado entre Alaska y Siberia después de las glaciaciones. Se ha discutido mucho acerca del período en que empezaron a llegar al Nuevo Mundo sus primeros habitantes, y parece ser que aquellos vastos territorios comenzaron a poblarse hará unos 40.000 años. A medida que llegaban, se iban dispersando, diferenciándose rápidamente en cuanto a cultura, lengua y constitución genética, y cuando terminó la glaciación quedaron aislados del Viejo Mundo.

Las condiciones demográficas que había cuando aquellos hombres llegaban al nuevo continente no eran muy favorables al mantenimiento de los agentes infecciosos que ellos y sus animales pudieran traer consigo. En efecto, las enfermedades de contagio directo, como la viruela y el sarampión, no podían hallar la concentración demográfica suficiente para asegurarse una continuada transmisión interhumana, mientras que las que requerían algún medio de transporte tenían que buscarse uno sustitutivo. Entre estas últimas, la esquistosomiasis resolvió ciertamente su problema, y según algunos, también lo resolvió la malaria. Sin embargo, aunque se acepta que el *Plasmodium malariae* viajara con los hombres que atravesaron el estrecho de Bering, no es menos probable que éstos lo perdieran durante el tiempo que pasaron en las latitudes más frías. Y, en todo caso, la malaria se difundió muy lentamente por el Nuevo Mundo con posterioridad a la llegada allá de los europeos.

Sobre el continente americano los nuevos advenidos hallarían probablemente nuevas enfermedades potenciales, en particular zoonosias para las que el hombre podía representar un huésped. Tal es el caso de la enfermedad de Chagas o tripanosomiasis americana, que, al contrario de las tripanosomiasis humanas africanas, infecta a diversos animales silvestres. Es muy improbable, de todos modos, que entre estas enfermedades se contara la fiebre amarilla, que algunos estudiosos quieren presente ya para entonces en el Nuevo Mundo, donde el virus transmitido por *Aedes aegypti* había utilizado como huéspedes a los monos de la jungla brasileña y colombiana. Por noticias históricamente de fiar sabemos que la fiebre amarilla apareció en Africa, en el golfo de Benín, en 1520, mientras que la primera epidemia de la misma en América tuvo lugar en el Yucatán en 1648.

Pero el fenómeno principal, consiguiente a la desaparición de importantes agentes infecciosos en aquellas poblaciones, debió de ser la progresiva eliminación de su patrimonio biológico de los factores genéticos que, en el Viejo Mundo, habían sido seleccionados porque conferían una resistencia contra las enfermedades infecciosas.

En los últimos cuarenta años antropólogos y genetistas han comprobado repetidas veces que determinados genotipos pueden conferir una resistencia natural frente a determinadas infecciones, como en el caso de ciertas anemias hemolíticas hereditarias (anemia falciforme, talasemia y déficit de glucosa 6-fosfato dehidrogenasis o carbunquismo) respecto a las endemias maláricas de Africa y el Mediterráneo. No faltan quienes se han preguntado también si el polimorfismo y la particular distribución geográfica de los factores antigénicos hereditarios que hay en la sangre, o sea, los grupos sanguíneos, tienen algo que ver con la presión selectiva ejercida por las enfermedades contagiosas sobre las poblaciones humanas.

Por ejemplo, según algunos genetistas, los individuos cuya sangre es del grupo 0 estarían inmunológicamente más indefensos frente a la agresión de los bacilos de la peste y del cólera, y esto explicaría la mayor frecuencia del factor 0 en las poblaciones marginales de Europa, como los islandeses, los irlandeses, los vascos, los corsos y los sardos, poblaciones que habrían estado sometidas a una menor presión selectiva por parte de estas enfermedades contagiosas. El hecho de que en el Asia central y meridional sea también poco frecuente el grupo A ha sido relacionado con la presión selectiva ejercida en esas regiones por la viruela.

Ahora bien, la proporción de individuos con sangre del grupo 0 es particularmente elevada en los pueblos indios de la América Central y del Sur, donde los factores A y B, cuando están presentes, parece que han sido introducidos mediante matrimonios mixtos en época reciente. Algunos datos indirectos sugerirían que los portadores del factor 0 estén dotados de una más eficaz respuesta inmunitaria contra la sífilis. Aunque el cronista del siglo XVI Fernández de Oviedo describió ya la resistencia de las poblaciones americanas a la infección sifilítica, la hipótesis formulada, para ser verosímil, exigiría que la sífilis fuese originaria de América y hubiese influido en la supervivencia de los recién nacidos y en la fertilidad de sus madres en aquellas poblaciones ya desde los primeros asentamientos.



En las civilizaciones precolombinas el consumo de coca estaba reservado para las ceremonias religiosas. Aquí vemos representada la planta de la coca en un grabado de Gálvez del siglo XVIII.

Ni que decir tiene que hasta ahora no se ha podido indicar ninguna relación directa entre los factores sanguíneos y la patogenia de las enfermedades contagiosas —aparte, tal vez, de la semejanza entre los antígenos de algunos grupos sanguíneos del huésped y algunos antígenos de los parásitos— que pueda explicar la incapacidad del sistema inmunitario de los individuos portadores de esos antígenos para dar una respuesta defensiva apropiada.

Añadamos que tales relaciones podrían, incluso, no existir, y las asociaciones estadísticas, de las que hablaremos en seguida, podrían deberse a una deriva estocástica. En la resistencia a las enfermedades contagiosas podrían estar directamente implicados otros genes. Por ejemplo, empieza a tomar forma la idea de que los antígenos de histocompatibilidad (antígenos HLA) sean marcadores biológicos más atendibles, ya que de ellos depende la capacidad, que el sistema inmunitario tiene, de "ver" los antígenos extraños, y, considerando que estas moléculas proteicas podrían identificarse mejor con las técnicas de la paleoinmunología, es de esperar que la investigación en este campo no tardará en producir importantes novedades.

En cualquier caso, los indios de América debían de estar dotados de una inmunidad selectiva que sólo era

eficaz contra los gérmenes que pululaban en su mundo. Un conocido cronista de la época, Bartolomé de Las Casas, escribía que ellos eran especialmente indefensos frente a las afecciones respiratorias. Otro, Juan de Solórzano Pereira, observaba que el "aliento" del extranjero mataba al indígena.

La hipótesis de que en las poblaciones amerindias se asociara una mayor frecuencia del factor 0 de la sangre a la presencia de la sífilis presupone, de hecho, que el *Treponema pallidum* sea de origen americano. Sobre esta cuestión se ha discutido mucho, y no parece sino que tal sea el supuesto más atendible.

Los argumentos tradicionales sobre el origen de la sífilis se han basado prevalentemente en el examen morfológico de las lesiones óseas causadas por el agente etiológico de la sífilis. En efecto, la sífilis, la lepra y la tuberculosis, a diferencia de otras inflamaciones debidas a agentes infecciosos banales, provocan lesiones del tejido óseo que, según muchos paleopatólogos, presentan una especificidad anatomopatológica.

Pero la tesis del origen americano de la sífilis parte ante todo de comprobar que, hasta hoy, no se ha encontrado indicio alguno de sífilis en los restos óseos prehistóricos, antiguos y medievales, ni en Europa ni en el Asia Menor. Más en concreto, jamás se han hallado vestigios de sífilis en ningún resto óseo antiguo proveniente del Mediterráneo.

La hipótesis antiamericana rechaza, en cambio, la especificidad anatomopatológica de las lesiones óseas antiguas e incluso la especificidad etiológica de las cuatro formas de treponematosis conocidas. Son éstas: la sífilis causada por el *Treponema pallidum*, que es de transmisión venérea y presenta una difusión esporádica; la sífilis endémica de transmisión extravenérea, que presenta peculiaridades clínicas distintivas; la framboesia (*yaws*), que es una afección de la piel y de los huesos sostenida por el *Treponema pertenuis*; y, en fin, la *pinta* [especie de tabardillo], una enfermedad benigna limitada a la zona tropical de la América Latina y causada por el *Treponema carenatum*, indistinguible del *Treponema pallidum*, por más que las manifestaciones clínicas de la sífilis y las de la pinta no se parezcan nada entre sí.

El hecho de que los agentes etiológicos de estas treponematosis sean serológicamente indistinguibles ha inducido a los antiamericanistas a suponer que estas enfermedades se deben todas ellas al mismo germen, el cual provocaría síndromes diferentes en relación con la respuesta biológica que se produce en diversas condiciones climáticas y socioculturales. Piensan ellos que la sífilis existe desde el Paleolítico con manifestaciones clínicas idénticas a las de la framboesia y, después, se habría ido diseminando y adoptaría diferentes formas según los contextos ambientales. La transición desde la forma endémica a la de la sífilis venérea se habría producido en ocasiones y lugares diversos, sobre todo allí donde la vida rural se transformaba en urbana.

Sin embargo, como observa Mirko Grmek, historiador de la medicina, es "imposible que una epidemia sifilítica, que para mantenerse requiere una alta tasa de morbilidad, se les pasara por alto a los médicos del mundo antiguo, y las teorías de los antiamericanistas se basan sobre todo en la hipótesis de que a la sífilis se la confundiese con la lepra. Mas esto sólo podría valer para el Medievo, puesto que la lepra no fue conocida en la época clásica".

Grmek cree biológicamente aceptable que el *Treponema pallidum*, verosímilmente responsable tanto de la sífilis endémica como de la venérea, sea un mutante americano de *T. pertenuis*, tal como podría serlo el *T. carenatum*. El treponema pálido, evolucionado en las Américas, habría comenzado su conquista del mundo arribando a Europa a bordo de una de las naves de Colón y haciendo su primera aparición epidémica en Nápoles en 1494. (Gilberto Corbellini.)

Tierra redonda

Pero tripartita

Enmarcar a Cristóbal Colón en la historia de las teorías geográficas es un cometido a la vez fácil y difícil. Como es usual en las cuestiones colombinas, obstaculizan la tarea la falta de datos seguros y las muchas fantasías y lucubraciones que en torno al personaje y a sus vicisitudes se han venido ensartando con poco o ningún fundamento. Mas lo que no se puede poner en duda es que la preparación cultural del navegante, inclusive en el campo geográfico, fuese la que era tradicional en la Edad Media, si bien enriquecida con mucha experiencia náutica que nuestro hombre adquirió primero en el Mediterráneo y después en el Atlántico.

Es cierto, en efecto, que Colón murió convencido, no de haber descubierto un nuevo continente, sino de haber llegado al Asia. Las tierras a las que había arribado, principalmente islas, eran para él avanzadillas del continente asiático, de aquel mítico país del Catay de sus ensueños que escribiera Marco Polo; una de tales tierras debía de ser el Cipango, es decir, el Japón.

Durante los últimos años de su vida el gran navegante se empeñó en apasionadas discusiones para sostener sus tesis; para demostrarlas se procuró textos clásicos y tratados medievales, que fue estudiando y anotando. El cuarto viaje, fatigoso y lleno de dificultades y adversidades, supuso un continuo esfuerzo por buscar, una vez alcanzada la orilla continental de Centroamérica, algún paso, que, a través de ésta, permitiese llegar a aquel océano en el que —según las creencias del tiempo y las suyas propias— desembocaban el Ganges y el Indo. Su concepción de la Tierra, obviamente esférica (pues esta idea era generalmente aceptada en los ambientes doctos), era, por tanto, la del Viejo Mundo repartido en tres extensiones de tierra firme: Europa, Asia y Africa.

También es cierto que, durante el tercer viaje, la vista del enorme caudal de agua dulce del Orinoco le sugirió la idea de que tenía que provenir por fuerza de una extensa superficie continental. Habló él entonces de "Outro Mundo", de una tierra firme fuera como fuese, que debía hallarse necesariamente hacia el sur, independiente de los demás continentes. De todos modos, aunque sólo fuese para no chocar de lleno con los sagrados principios de la cosmografía y de la geografía tradicionales y no echarlos abajo, Colón no profundizó en este tema que, por lo demás, tampoco le interesaba demasiado. El se limitó a suponer que allí podría hallarse el Paraíso terrenal, que las leyendas medievales situaban entre altas montañas, ricas en aguas frescas y abundosas, en la extremidad oriental del mundo: y el más remoto occidente debía coincidir con el más remoto oriente.

Por tanto, puede decirse que América fue descubierta a pesar de las concepciones geográficas y cosmográficas de Colón. Estas eran en realidad erróneas, porque se basaban en una equivocada valoración de la longitud de la circunferencia terrestre, en un cálculo para el que se había empleado, a su vez, una inapropiada unidad de medida (tomando en vez de la milla árabe la milla romana).

Por otro lado, las primeras representaciones cartográficas de América reflejaron tales ideas, dibujando al norte una masa continental que desde el Asia se extiende hasta Cuba, al frente de ella las Antillas y, al sur, un Nuevo Mundo. Tratábase, en sustancia, de añadir "algo" a las ideas de los medievales, ideas que cuadraban perfectamente con el esquema mental de la Escolástica y que tampoco desechaban algunos elementos tradicionales de la Patrística. Si en aquellos decenios maduraron varios motivos radicalmente innovadores para la ciencia de la época y para su visión del mundo, no se debió ciertamente a las concepciones de Colón, sino a las consecuencias que se siguieron de sus descubrimientos y empresas.



Esta carta del mundo, que pone en el centro Jerusalén, es una miniatura de un salterio inglés del siglo XIII que se conserva en la British Library.

Por lo demás, hay que subrayar que la existencia de tierras occidentales, en medio del Atlántico o más allá de él, se "presentía" desde hacía tiempo en Europa. Aparte de las expediciones de los vikingos (o, mejor, de los normandos), a propósito de las cuales no se puede ciertamente hablar de "descubrimiento de América" sino sólo de casuales arribadas a algunos tramos de sus costas y del encuentro —igualmente ocasional— en algunas islas aledañas, con los consiguientes asentamientos allí por breves períodos de tiempo; aparte —también— de las varias fantasías y leyendas tejidas una y otra vez en torno a este tema, está la circunstancia de que en la cartografía del siglo XV el espacio reservado para el Atlántico va aumentando con el transcurso de los decenios y en él se representan numerosas islas, reales o fantásticas, en posición más o menos correcta (aunque más a menudo incorrecta).

Así pues, en los países europeos asomados al Atlántico había una difusa expectativa de encontrar alguna vez esas tierras, casi la certidumbre de que un día serían por fin halladas. Pero el problema práctico, desde el punto de vista náutico, no era tanto el de llegar a una de esas tierras occidentales (si Colón no hubiese arribado a un trecho de tierra americana en 1492, habría arribado allá no muchos años después cualquier navegante intrépido, probablemente portugués más que español, o inglés más que francés), sino que el problema consistía en cómo regresar y dar cuenta de la empresa dejando memoria escrita, perdurable y crítica, de la misma (sin lo cual, como gusta de repetirse, no hay "descubrimiento" sino sólo encuentro).

Ahora bien, Colón le dio a Europa lo que, sin que él se percatase, fue un auténtico descubrimiento, y si triunfó en su empresa fue gracias a dos factores esenciales: la audacia de intentar y llevar a cabo una navegación a través de lo que se consideraba desde siempre un océano tenebroso e infranqueable, lleno de peligros, y por un lapso de tiempo que, aun errando al evaluar la extensión del mar, comportaba un riesgo inmenso, pues rebasaba los límites de las capacidades náuticas de las pequeñas embarcaciones de la época; y, el otro factor, el conocimiento del régimen de los vientos y de las corrientes oceánicas, tanto que pudo elegir para el viaje de ida una ruta más meridional, que le permitió sacar partido de los vientos alisios, y para el retorno otra ruta más septentrional, por la que le favorecieron los vientos que soplan desde occidente.

El verdadero mérito de Colón —lo escribió hace ya muchos años Roberto Almagià— más que el de descubrir América fue el de demostrar que el Atlántico era efectivamente navegable en dirección este-oeste y viceversa (en la dirección norte-sur lo habían demostrado ya los portugueses), siguiendo unas rutas de normal dificultad que en pocos años serían habituales para las marinerías europeas.

Con ello contribuyó Colón a la ampliación del horizonte geográfico, a aquel engrandecimiento de espacios y perspectivas que, para la cultura y la ciencia europeas, señala el final del Medievo y el inicio de la Edad Moderna. Y en esta hazaña a él, que había aprendido a navegar en el Me-

diterráneo, le sirvieron de gran ayuda las experiencias que hizo navegando con los portugueses por el Atlántico. Hacía tiempo que éstos sabían que, para regresar a casa desde las costas noroccidentales del Africa, que iban explorando paulatina y tenazmente, era necesario lanzarse 'al largo', en medio del Atlántico, hasta alcanzar la faja en que dominan los vientos occidentales ("a volta do largo", o sea, poniendo la popa al viento que ayuda a volver).

Con los portugueses había aprendido Colón a reconocer las estrellas del hemisferio austral, a determinar la latitud observando la altura del sol y de los demás astros (no es verdad que esta práctica la ignorasen enteramente los marinos del Mediterráneo, que, sin embargo, la usaban poco, ya por las dificultades que suponía emplear a bordo instrumentos de complicado manejo, ya sobre todo porque en las navegaciones mediterráneas, que implicaban diferencias de pocos grados de latitud, no valía la pena hacer tales observaciones).

Es cierto, en suma, que la idea de navegar hacia el oeste para llegar al este la concibió Colón a orillas del Tajo y gracias a las pruebas náuticas que efectuó partiendo de allá. En Andalucía y en Castilla fue después perfeccionando su idea y apoyándola en bases científicas, geográficas y cosmográficas (erróneas).

La aventura colombina comienza en el Mediterráneo y nace basándose en la cultura empírica y científica de las técnicas náuticas vigentes a la sazón en aquel mar interior. Pero se amplía sobre el Atlántico gracias a los contactos con navegantes acostumbrados a surcar este océano y los mares a él adyacentes: no es casual que en el *Diario de a bordo* del Almirante vayan siendo sustituidos paulatinamente los nombres mediterráneos de los vientos y de los puntos cardinales por los que estaban en uso entre los marinos atlánticos de la Europa occidental.

El descubrimiento de América ocurrió cuatro o cinco años después de que Bartolomé Díaz descubriera el Cabo de Buena Esperanza; seis años más tarde Vasco de Gama, llegando a la India, abrirá las rutas del Asia meridional y oriental, pero entre tanto estaban siendo ya explorados, al sur y al norte, amplios tramos del litoral americano. Así que, antes de que Fernando de Magallanes, cumpliendo en los años 1520-1522 su periplo de circunnavegación de la Tierra, proporcionase la primera prueba empírica de la esfericidad de nuestro globo, se había adquirido ya consciencia de que existía un continente nuevo y del carácter unitario del mismo; a él le había ya impuesto Martin Waldseemüller el nombre de "América".

El verdadero significado de su descubrimiento, para los fines de la teoría geográfica y de la ciencia, está en la dilatación de los horizontes, en el pasar de intereses de cuencas cerradas y de mares tan limitados como el Mediterráneo o el Mar del Norte del Medievo, a una pluralidad de océanos a través de los cuales podían los hombres ampliar la red de sus relaciones. (Gaetano Ferro)



A la izquierda, una carta náutica del año 1480, de Albino de Canepa, conservada en el Museo de la Sociedad Geográfica Italiana, en Roma. En la página de al lado, el famoso mapa de Piri Reis, de 1528, que representa la parte que entonces se conocía de la costa atlántica americana. Consérvase en el Museo del Topkapi de Estambul.



Técnica astronómica de ayer

El astrolabio

El astrolabio planisférico es un instrumento que sirve para simular la posición de la bóveda celeste con respecto al horizonte terrestre de un espectador situado en determinada latitud geográfica.

El estudio del movimiento de los astros, primer vínculo del hombre con la ciencia, exigió la creación de instrumentos para representar el aspecto del cielo y el de la Tierra, así como el de su mutua relación. Los instrumentos más antiguos conocidos son los de forma esférica; nos consta la existencia de esferas armillares desde el siglo V antes de Cristo y esferas terrestres desde el año 150 de nuestra era.

Pronto cedieron su lugar a una representación plana de las esferas terrestre y celeste en una nueva concepción que originó el astrolabio planisférico, instrumento que formó parte indispensable del bagaje de viajeros, astrónomos, geógrafos, navegantes y otros, desde el siglo IV hasta el XVII. A partir de esa fecha, el astrolabio se substituyó progresivamente por instrumentos mucho más especializados: el reloj mecánico, la brújula, el teodolito y el sextante.

Se conocen varios instrumentos astronómicos con características y prestaciones muy diferentes que gozan de la común denominación de astrolabio, cuyo nombre procede del griego equivalente a "descubridor de astros": el astrolabio esférico, el astrolabio lineal, el astrolabio náutico, el astrolabio-cuadrante, el astrolabio universal, el astrolabio impersonal. Pero el astrolabio por excelencia es el planisférico.

Desde la antigüedad se han usado diferentes métodos para trasladar a una superficie plana los astros que se nos muestran situados en la esfera celeste. La proyección estereográfica fue un verdadero hallazgo para trasladar esas posiciones en los astrolabios, pues ofrecía prestaciones valiosísimas: facilidad para representar sobre un mismo plano la casi totalidad de la esfera, cualquier círculo de la esfera queda proyectado como una recta o un círculo sobre el plano y el ángulo que forman dos líneas trazadas sobre la esfera mantiene su magnitud sobre la proyección resultante.

La proyección estereográfica empleada en los astrolabios planisféricos era conocida desde el tiempo de Hiparco (siglo II a. C.), aunque el primer estudio sobre las bases geométricas del astrolabio se debe a Claudio Ptolomeo (del siglo segundo de nuestra era), quien lo describe con el nombre de "instrumento horoscópico".

Los tratados sobre el astrolabio redactados por los griegos Theon de Alejandría (s. IV) y Juan Filopón (s. VI) serán compilados por la cultura árabe, quienes harán un extenso uso del astrolabio entre los siglos IX y XI, introduciéndolo en la cultura occidental de la mano de las traducciones de tratados hispano-árabes que se realizaron, a partir de finales del siglo X, en el monasterio de Ripoll.

El primero de los grandes científicos hispano-árabes, profundo conocedor además del astrolabio, fue Maslama al-Mayriti (m.1007). Creó escuela. De sus discípulos podemos destacar a Ahmad Ibn al-Saffar, autor en Denia de un tratado del astrolabio traducido al latín en Ripoll, y su hermano Muhammad Ibn al-Saffar, autor de varios astrolabios, entre ellos los conservados en Edimburgo (1026) y Marburgo (1029). Ibrahim Ibn Saíd al-Sahlí construyó astrolabios en Toledo y Valencia que se conservan en Madrid (1066) y Oxford (1068). Ibrahim al-Sahlí es el autor





Anverso (izquiera) *y reverso* (derecha) *de un astrolabio construido por el autor.*

del astrolabio valenciano que se conserva en Kassel (1086).

En el astrolabio se combinan una proyección del horizonte terrestre en la parte fija (lámina) y otra de la bóveda celeste en la móvil (araña). La "madre" es la pieza mayor y consiste en un recipiente cilíndrico con poco fondo que lleva adosados diversos elementos para sostener el astrolabio y una corona circular con las venticuatro horas del día para la determinación de la hora equinoccial; en su parte posterior puede presentar muy diversos trazados: un anillo graduado en 360 grados para tomar las alturas de los astros a través de la "alidada", un calendario zodiacal y su equivalente mensual y una escala altimétrica para el cálculo de alturas, longitudes y profundidades terrestres.

Cada una de las "láminas", de las que un astrolabio puede llegar a contener hasta una docena, está trazada para una latitud geográfica diferente. Contiene la proyección del Ecuador y de los Trópicos para la medición de las coordenadas ecuatoriales; también incluye el horizonte local y las líneas de altura y acimut, entre las que se encuentran el meridiano local Norte-Sur y la línea Este-Oeste, para la medición de las coordenadas horizontales. Bajo la línea del horizonte vemos las indicaciones de las horas temporales o desiguales y, a veces, las casas astrológicas para levantar horóscopos.

La "araña" es una pieza metálica calada que representa la proyección de la bóveda celeste. En ella se encuentra el círculo zodiacal y, según el astrolabio, entre veinte y sesenta estrellas representadas por las puntas de otros tantos garfios cuidadosamente cincelados.

La "araña" puede girar sobre la "lámina" simulando así la posición relativa de los astros con respecto al horizonte local. Con dicho movimiento, y previa medida de la altura del Sol o de una estrella destacada, se puede determinar la hora solar equinoccial, así como la hora temporal. Se puede calcular la hora de la salida y de la puesta del sol para cada día del año, así como la hora de la salida y de la puesta para cada día y para cada una de las estrellas representadas en la "araña"; permite establecer el intervalo de los crepúsculos o tiempo transcurrido entre la salida o la puesta del sol y la hora de oscuridad total. Los árabes utilizaron también los astrolabios para determinar la dirección de la Meca con la ayuda de una gráfica especial incluida en el dorso del instrumento. (Eduard Farré).

Inestabilidad astronómica

Fulguraciones estelares

Las estrellas con fulguraciones son enanas rojas caracterizadas por bruscas explosiones que suelen durar unos minutos y provocan aumento de brillo de hasta seis magnitudes. Aunque se han propuesto mecanismos exóticos para explicar tales incrementos súbitos, como la caída de meteoritos en la superficie estelar, parece bien asentado que se trata de un fenómeno relacionado con los campos magnéticos existentes en la superficie de la estrella. Las fulguraciones estelares se parecen a las que registra, a menor escala, el Sol, donde no produce una variación sustancial de brillo.

Esos fenómenos se habían observado en el rango espectral visible, ultravioleta, radio e incluso rayos X. Pero faltaba detectarlos en el ultravioleta extremo (100-1000 angstroms), región de difícil acceso debido a las limitaciones técnicas y al temor de que la absorción provocada por el hidrógeno interestelar, especialmente intensa a estas longitudes de onda, impidiera la observación de objetos distantes. Miedo que se ha desvanecido tras la demostración de que tal absorción no es homogénea, sino que existen direcciones en las cuales es mucho menor de la esperada y pueden percibirse objetos remotos.

También se han vencido las limitaciones técnicas. El satélite ROSAT, un experimento conjunto de Alemania, Estados Unidos y Reino Unido, se lanzó en mayo de 1990. Lleva a bordo la cámara de campo amplio, un detector equipado con varios filtros que permite la observación en el rango comprendido entre 100 y 600 angstroms. El satélite realizó una exploración de todo el cielo entre los meses de agosto de 1990 y enero de 1991, intervalo durante el cual se programaron observaciones simultáneas de objetos de interés por parte del *Explorador Internacional en el Ultravioleta*. El IUE, como se le abrevia a este último satélite, es un proyecto conjunto de la Agencia Espacial Europea, la NASA y el SERC; cubre el rango espectral entre 1200 y 3200 angstroms. El IUE porta, además, un instrumento auxiliar para la medición simultánea del brillo óptico del objeto observado en el ultravioleta.

Entre los objetos que hemos llamado de interés estaba el sistema binario BY Draconis, compuesto por dos estrellas que experimentan frecuentes fulguraciones ópticas. BY Draconis era visible por ROSAT entre el 23 de septiembre y el 11 de octubre de 1990. Durante ese período, se observó con IUE un total de 48 horas. El día primero de octubre se detectó una fulguración con ROSAT, que coincidió con un aumento en el brillo óptico y con cambios notables en las líneas de carbono triplemente ionizado observadas en el rango de IUE. Se había detectado la primera fulguración en el ultravioleta extremo en una estrella distinta del Sol, observándola además en el visible, ultravioleta y rayos X. (En el rango espectral de rayos X con otro instrumento instalado a bordo del ROSAT.)

El análisis de los datos aportados por el ROSAT revela que, durante el período "en calma" del sistema, la temperatura de la región emisora de la radiación en el ultavioleta extremo alcanza unos tres millones de grados y la luminosidad se mueve en torno a 4×10^{28} ergs por segundo en el rango espectral entre 0,08 y 0,18 kiloelectronvolt. No fue posible determinar la temperatura alcanzada por el gas emisor durante la fulguración, pero sí la energía emitida durante ella: 7×10^{32} ergs.

La fulguración duró varias horas en el ultravioleta (lo que no es frecuente en estrellas de este tipo), con cierto parecido con lo que en el caso solar se denominan fulguraciones de descenso lento. Todo parece indicar que la energía emitida en el ultravioleta extremo es una fracción considerable de la energía total producida en la fulguración. De ahí la importancia de esas observaciones para el estudio de los mecanismos responsables de estos fenómenos. Con posterioridad se han ido detectando fulguraciones en otros sistemas binarios: EV Lac, YY Gem y AU Mic.

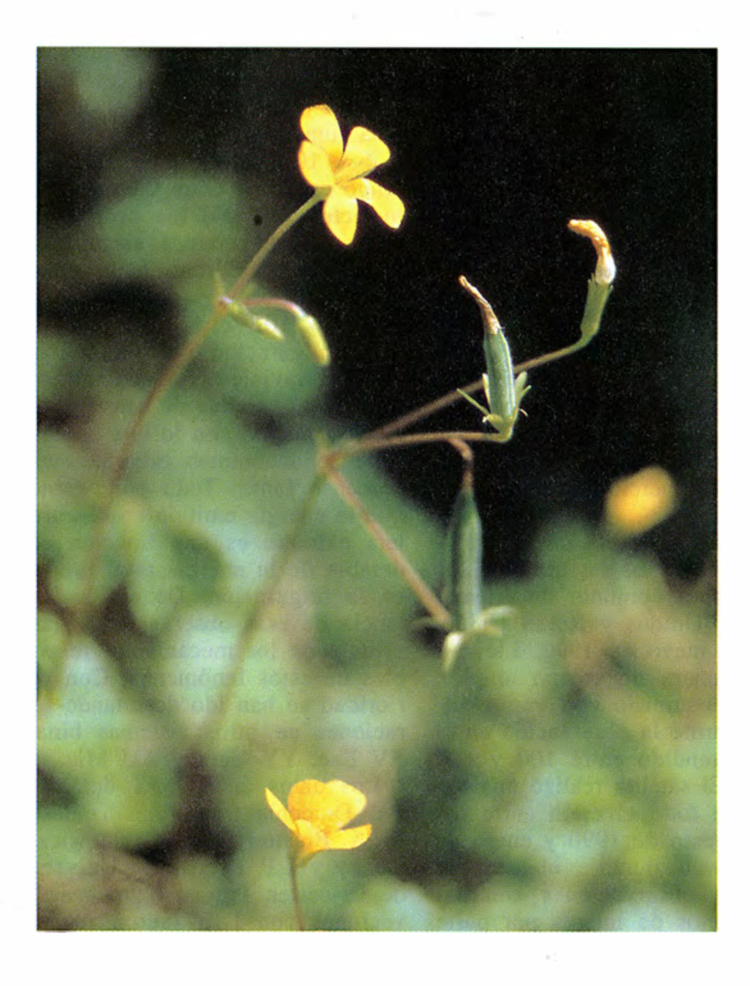
Los datos de ROSAT del sistema BY Draconis fueron analizados por M. A. Brastow, G. S. Pankiewicz, M. Denby y J. P. Pye, de la Universidad de Leicester. Por su lado, las observaciones con IUE fueron realizadas por G. E. Bromage, del Rutherford Appleton, y la autora. (Rosario González Riestra, del Observatorio IUE. Agencia Espacial Europea.)

ERRATUM

El autor de la reseña del libro *Advances in comparative physiology*, aparecida el mes pasado, fue J. González Gallego, catedrático de la Universidad de León, y no J. González León.

Fotos y texto: Satoshi Kuribayashi

Voleo ultrarrápido



fotografía de la página opuesta
distancia focal: 50 mm
diafragma: F = 14
exposición: 1/50.000 de segundo aprox.
película: ASA = 100

La fotografía de la derecha le indica al lector, mejor que cualquier excursus etnocultural, el motivo por el que llamamos en castellano aleluya a la acederilla: porque dispersa sus semillas en una eclosión de alegría, a modo de voleo ultrarrápido. Claro que el sabor amargo de sus hojas pudiera explicar que los vascos denominen a esta humilde rastrera "hierba de Barrabás". Las acederillas pertenecen a la familia de las oxalidáceas, que deben el nombre a su contenido en ácido oxálico.

De sus hojas, en roseta basal, emerge un largo cabillo que sostiene la flor de la acederilla, con cáliz formado por cinco sépalos, juntos unas veces y separados otras, y corola pentapétala. El fruto es una cápsula ovoide, rematada en punta, en cuyo interior se encuentran las semillas envueltas en membranas sumamente elásticas.

La contracción de esa película provoca la expulsión violentísima de las semillas. Por reacción, a imagen del casquillo de la bala, sale también disparada la membrana, aunque con cierta demora. Yo forcé el proceso natural, resecando artificialmente las vainas que contenían semillas maduras, para captar el reventón.

Me ayudé del sensor de infrarojos. En un principio, sólo podía fotografiar las bolsitas, tal era la velocidad con que los granos salían disparados. Más de diez días me costó captar la expulsión de semillas y membranas en una misma toma. El resultado lo tiene el lector a la derecha.



El galeón español

La riqueza de la tecnología de las naves españolas se resume en los galeones que fueron la guardia de la Carrera de las Indias y de las armadas en Europa

Francisco Fernández González

La palabra galeón evoca la imagen de barco español que traía tesoros de América y era presa atractiva para corsarios, piratas, filibusteros y bucaneros. Se le supone lujoso, navegando en apretada formación entre el Caribe y la Península. Es el efecto publicitario del cine y de la imagen emitida a distancia, que han substituido a la lectura de la novela histórica, tradicionalmente indocumentada en este tema.

La realidad del galeón fue muy diferente, y también muy variada a lo largo de su historia. Para empezar, no había un prototipo único, ni el español era el usado por otras naciones europeas. Hasta mediados del siglo XV, las naves mediterráneas no difieren mucho de las que se han utilizado para la navegación costera, en ese mar interior, desde los tiempos de Grecia y Roma. Sólo la influencia oriental, mediada por los árabes, substituye la vela cuadra por la latina en las "galeras" y las "carabelas". En el otro extremo de Europa, las atlánticas mantienen una navegación costera y presentan bordos más altos y mayores bodegas.

Antecedentes del galeón, y muchas veces confundidas con éste, durante la primera mitad del siglo XVI conviven en los mares de Europa tres tipos de naves de gran porte: cocas, carracas y naos. Las "cocas hanseáticas", destinadas al comercio, eran vasos con proa recta y cuya popa redonda resulta de cerrar la tablazón del costado a tingladillo (es decir, solapando las tablas superiores a las inferiores, como las tejas); con un solo mástil muy grande y un castillo en la proa (construcción elevada sobre la cubierta, que se empleaba en el combate cercano). Se usaron en el tráfico casi costero del norte. Piratas de Bayona la llevaron en 1304 al Mediterráneo.

Las "carracas", naos de gran porte, primero mediterráneas y luego atlánticas, presentaban altos bordos y popas planas que permitían la tablazón a tope (es decir, con las tablas unidas por sus cantos a todo lo largo de cada traca o hilera), y proporcionaban mayor flotabilidad atrás. De gran capacidad de carga y usadas en largas travesías, se les incorporaron con ese fin un palo menor a popa (*circa* 1367) y, un siglo después (*circa* 1466), otro a proa.

Por último, las "naos", cantábricas y mediterráneas, comienzan siendo redondas (con la popa convexa) y con dos palos, pero evolucionan aplanando su popa e introduciendo los tres palos de las carracas; son las naves por antonomasia, famosas por sus prestaciones marineras y por su solidez; hacen las rutas del norte de Europa y de las ballenas de Terranova; representan la síntesis tecnológica de las cocas del frente atlántico y de las naos de dos palos y las carracas mediterráneas conseguida a lo largo del siglo XV.

A lo largo de los siglos XVI y XVII desaparecen las cocas. De la mejora técnica surgen las urcas, evolucionadas de los "hulk" nórdicos (panzudos bajeles de carga), los galeones y los "navíos"; los dos últimos, como naves de armada. Urcas, galeones y navíos arbolan un bauprés, palo levantado hasta dos cuartas, que sirve para largar la vela cebadera de proa y así llevar la popa al viento. Hasta que el bauprés no es resistente, se acorta y baja para afirmar en él el estay del trinquete, este árbol cae a proa, sujeto por sólo sus obenques que tiran hacia popa. (El estay del trinquete es el cabo grueso que lo sujeta a la proa por su cabeza, para que no caiga hacia atrás; los obenques son varios cabos menos gruesos que afirman el palo a las dos bordas de la nave, manteniéndolo en el plano vertical.)

Se le daba el nombre de "galeón" a ciertas naves menores, costeras, dedicadas a la pesca en el norte y en el sur peninsulares del siglo XIII. También se cita como tal un tipo de navío de Liguria: un "galeone" construido en Varezze en 1497, con 35 codos de eslora y una capacidad de 3000 cántaros, y otro que, en 1521, con 1300 cántaros tenía un porte diez veces menor que las "naves" de esta época. Debía de tratarse de galeras menores y, por tanto, con remos. Como en nuestro galeón, la proa terminaba en un espolón agalerado.

Galeón: barco armado

El "galeón español" propiamente dicho nace, en la primera mitad del XVI, con una finalidad de barco armado para la defensa. Sin embargo, todavía en los contratos de construcción de naves en Guipúzcoa entre 1550 y 1580 se emplean indistintamente los nombres de "naos" y "galeones" para señalar barcos con los mismos portes e iguales proporciones, trazas, medidas y fortalezas. El uso debió de ir restringiendo su significado al de la aplicación final, y "galeón" se reservaría para designar nave reforzada, en cuyo caso incorporaría portas (aberturas en los costados para la artillería), alcázar (reducto para la defensa a popa del palo mayor), castillo y jaretas (redes de cabos o celosías de listones de madera que techaban la zona central de la cubierta, o combés, para impedir que los enemigos ocuparan esta cubierta en los abordajes), que podrían ser añadidos posteriomente. Pero se mantiene el equívoco del término galeón asociándolo al de la nao para uso mercante hasta que se cons-

FRANCISCO FERNANDEZ GONZALEZ, doctor en ingeniería naval, estudió arquitectura naval en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Es catedrático de construcciones navales en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales de la Universidad Politécnica de Madrid, donde ha introducido los estudios de arqueología e historia de la construcción naval.

truyen los prototipos de "Galeones del Rey" en 1567. A partir de entonces sólo serán galeones los previstos para armada desde su nacimiento, o los que sean aprestados como tales por encargo del Rey.

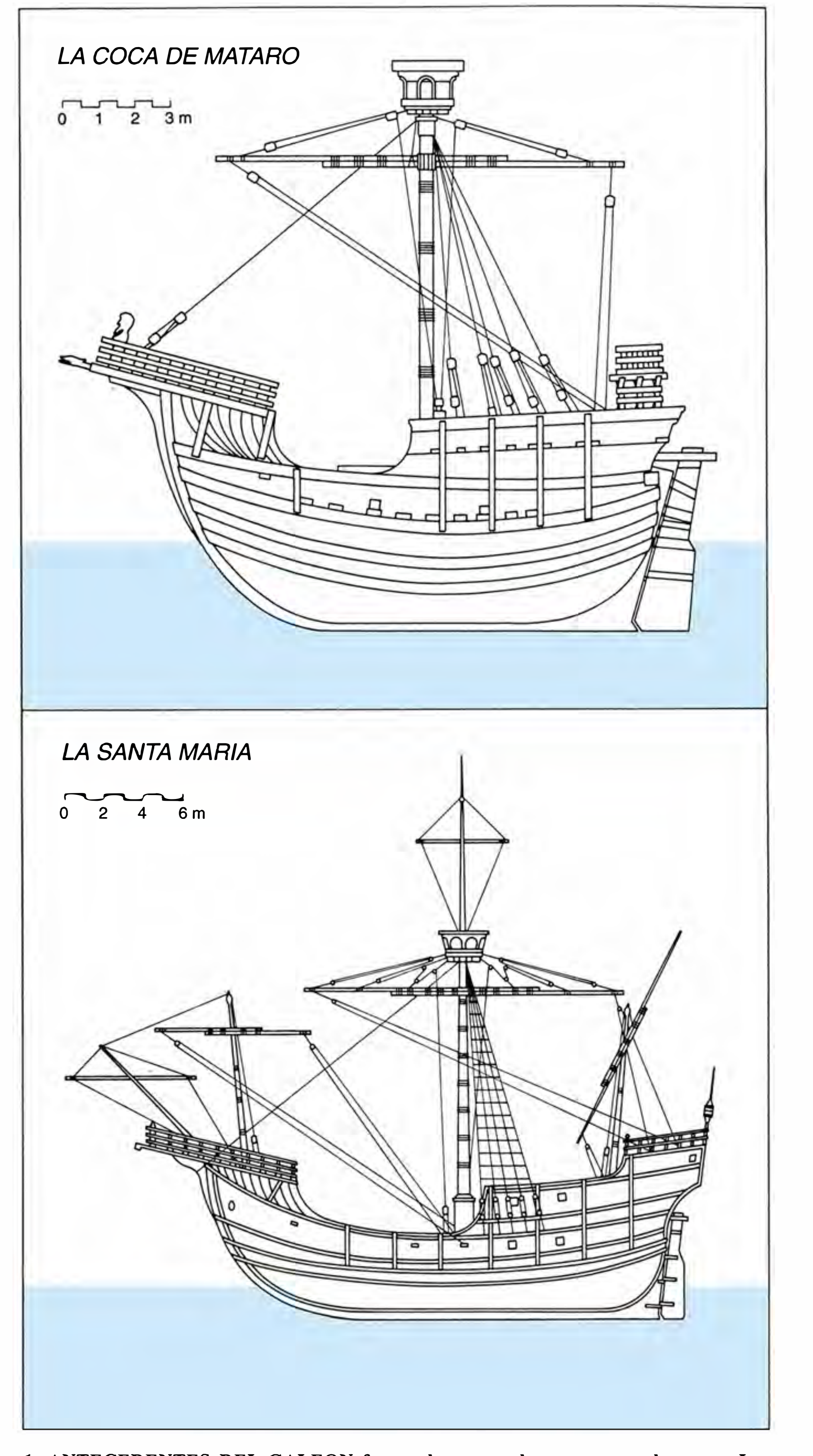
La navegación a las Indias demanda un profundo replanteamiento de la arquitectura naval. Los barcos han de enfrentarse a mares nuevas, para las que no sirve ya la experiencia acumulada en el frente atlántico europeo y menos la secular del Mediterráneo. Así, son las naves de Pedrarias Dávila en su expedición a Tierra Firme las que primero forran la tablazón de la obra viva con láminas de plomo para impedir la acción destructora del teredo (*Teredo navalis*), bivalvo voraz de las aguas cálidas del mar Caribe.

Ciencia y técnica naval en el Renacimiento

La España renacentista tenía un nivel técnico y científico superior a otros países europeos. Así se demuestra con los tratados de astronomía, cosmología, aritmética y los más de quince libros de navegación publicados antes que el primer "Quijote" viera la luz en 1605. Merecen citarse: el Tratado Tercero de las "Quatri Partitu" (1538), de Alonso de Chaves; el "Itinerario de navegación de las Indias Orientales" (1575), de Juan Escalante de Mendoza; la "Instrucción Náutica" (1587) de Diego García de Palacio; y el "Arte para fabricar, fortificar y aparejar naos" (1611), de Tomé Cano.

La navegación transatlántica, al exigir una navegación "de altura" que, lejos de toda costa invalidaba las cartas y portulanos hechos para pocas singladuras, propició el desarrollo de unas mejores técnicas para conocer los elementos esenciales de este arte: la posición, el rumbo y la velocidad. La posición se fija por la latitud y la longitud del lugar en la mar. Sólo la latitud se resolvía, con bastante pericia del piloto, midiendo la altura del Sol al mediodía con el cuadrante o el astrolabio, y la del polo y otras estrellas con la ballestilla o báculo de Jacob. Pero determinar la longitud requería dominar la medida del tiempo con mayor precisión. Los relojes a bordo eran la ampolleta de arena, que se volcaba cada guardia, de día, y el nocturlabio, que medía la posición del carro de la Polar, de noche, o la Cruz del Sur bajo el ecuador.

El conocimiento del cielo y sus movimientos era, pues, fundamental para navegar a Indias, y ello a pesar de que ni su observación ni su me-



1. ANTECEDENTES DEL GALEON fueron las cocas, las carracas y las naos. Las cocas del comercio o hanseáticas (*arriba*) eran naves con roda recta, tablazón del costado en tabladillo, un solo mástil y castillo. Las carracas eran naos de gran porte, altos bordos y popas planas. Las naos cantábricas y mediterráneas comienzan siendo redondas y con dos palos, pero evolucionan aplanando su popa e incorporan un tercer palo. La *Santa María* poseía características de nao y de carraca. (Los primeros galeones son meras naos de las flotas, que se arman para la defensa, a cambio de llevar menos carga.)

dición podían dar una gran exactitud. Ni los relojes aportaron suficiente precisión hasta el péndulo compensado de 1724. Si se añade el movimiento de la nave se obtendrá un error habitual medio de hasta un grado, que significa 60 millas marinas o 111 km en el meridiano, y que se obtiene con un error de cuatro minutos en la medida del tiempo. De aquí la importancia de la "estima" como método para situar el navío, estimando su rumbo y su velocidad, y comprobando luego la latitud alcanzada. Y ello, a pesar del error que tenía la estimación de la singladura con los vientos y corrientes cambiantes. La utilidad de la brújula o aguja como indicadora del rumbo quedó sujeta a revisión desde que Colón descubrió la declinación, en su primer viaje. La dificultad en medir la longitud se traducía en errores en la cartografía de las Indias.

La Casa de la Contratación

Los galeones españoles se construyeron, principalmente, en los astilleros de la cornisa cantábrica. Guipúzcoa, Vizcaya y Santander tenían carpinteros, materiales y lugares abrigados para fabricar las mejores naves que requerían las Indias. Los robles del Cantábrico eran mucho mejores que los pinos de Andalucía para la fortaleza de los vasos, y sólo se hacían de pino las tablas de las obras muertas y los mástiles a partir de la mitad del s.XVI.

La Casa de la Contratación, creada por la reina Isabel en 1503, fue la cabeza de la navegación a las Indias en Sevilla, hasta que en 1717 se trasladó a Cádiz. En esta Casa se instituyó en 1508 el oficio de Piloto Mayor para enseñar a los pilotos. El primero fue Américo Vespucio. Los candidatos a pilotos de la Carrera debían probar haber navegado seis años a Indias; haber estado en Cuba, Tierra Firme, Nueva España y la Española; tener su propia carta de marear y saber "echar los puntos"; dar razón de rumbos y tierras, puertos y bajos peligrosos, resguardos y lugares donde abastecerse de agua, leña y otras cosas necesarias; tener un astrolabio para tomar la altura del Sol; y cuadrante para el Norte; y saber usarlos; y el conocimiento de las horas que son en cualquier tiempo del día y de la noche.

El primer obstáculo a sortear lo tenían en casa: era el de la "barra". La salida del arrastre del Guadalquivir al océano formaba en Sanlúcar una barra que disminuía la profundidad libre del agua significativamente. Esto representaba un problema para naves que debían salir del río cargadas y entrar en él también cargadas, a su regreso. Al apurar su límite de carga, las naves tocaban en la barra, lo que producía gran número de averías, y pérdidas, cuando no retrasaba la salida o la entrada, a veces hasta más de tres meses, hasta que llegaba una marea suficiente.

El obstáculo de La Barra justifica que se mantenga durante dos siglos el mismo método de construcción de las naves, usando gálibos, trazas y herramientas propias de los maestros carpinteros de ribera, quienes las guardan como secreto vital. Todavía en 1630 se prohibía la salida de España de ningún artífice, carpintero o calafate, para que no enseñen su oficio a otras naciones.

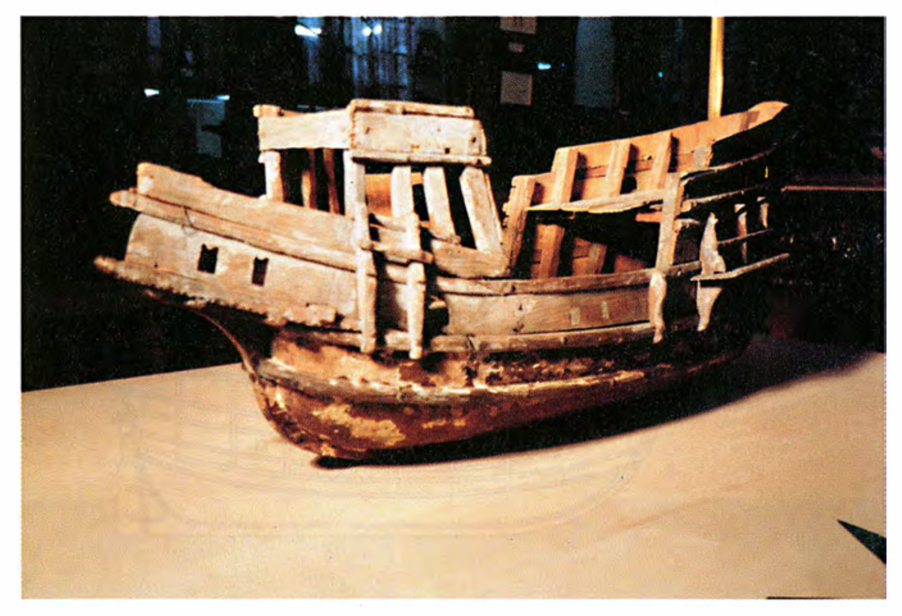
Escuadras y armadas

En el siglo XVI la marina española contaba con las Escuadras de Galeras del Mediterráneo y la Armada del Mar Océano. A lo largo de la centuria fueron apareciendo: la Armada de la Guarda de la Carrera, la Armada de la Flota de Nueva España, la Armada de Barlovento, la Armada del Mar del Sur y el galeón de Manila.

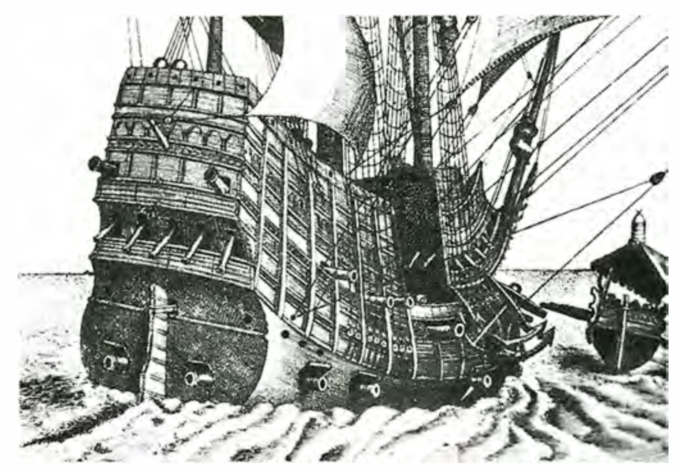
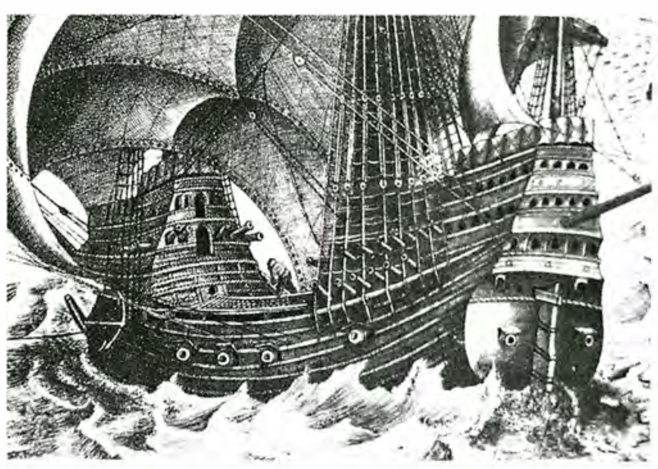
Las Escuadras de Galeras del Mediterráneo no incluían ningún galeón; constituyen las únicas fuerzas que tienen carácter permanente y son especializadas para la guerra, ya que su propulsión mixta permite su tarea con independencia de la mar y los vientos.

La Armada del Mar Océano cumplía la misión de defender las costas peninsulares y el tráfico atlántico con el norte de Europa; sus galeones quedan prácticamente reducidos a la Capitana y a la Almiranta Reales. La organización del comercio con las Indias queda establecida definitivamente con Felipe II. La Real Cédula del 10 de julio de 1561 determina que salgan dos flotas anuales: una para Nueva España y la otra para Tierra Firme. Con cada flota deben ir sendas naves armadas como Capitana y Almiranta. Aunque al principio sólo se exige que carguen 100 toneladas menos y lleven 30 soldados, cinco años más tarde, ante los ataques de Hawkins y Drake, se ordena que sean de 300 toneladas de porte por lo menos, y vayan sin carga alguna y con su artillería incrementada con 8 cañones de bronce, 4 de hierro y 24 piezas menores, y una dotación de 200 hombres.

Las armadas de la Flota de Tierra Firme y la de la Flota de Nueva España solían hacer juntas las derrotas entre Sanlúcar y las Indias. La formaban dos naves de guerra, la Capi-



2. GALEON DE UTRERA, representante del tipo de galeones que se derivaban de barcos mercantes transformándolos para su misión defensiva del tráfico americano. Pertenece, pues, a la innumerable cantidad de barcos 'mercantes armados' que sirvieron a la Corona, en la época de los descubrimientos y las exploraciones. Es un galeón sencillo, pero puede considerarse el antecedente y la causa directa de los primeros galeones inventados y construidos como tales, en el reinado de Felipe II, por Menéndez de Avilés, Cristóbal de Barros y otros buenos arquitectos navales. Una probable aproximación al 'Galeón de Utrera' nos da las siguientes dimensiones principales, en codos de ribera: manga, 14,5; puntal, 7,25; quilla, 29,00; eslora, 43,5. A estas dimensiones le correspondería un arqueo, según cómputos de la época, de unas 250 toneladas de mercante y unas 200 de armada. (Museo Naval de Madrid.)

3. GALEONES DEL ESCORIAL (Sala de Batallas), pintados por Granello y Fabricio en 1583. Son carracas mezcla de los tipos holandés e italiano. En la imagen del galeón San Martín (*derecha*), de 1000 toneladas, junto a errores impropios de un marino o de un pintor del natural, se descubren características de su rango así como valiosos detalles de su construcción y de su maniobra, que lo distinguen como un verdadero galeón del Rey: estandarte real, rojo carmesí con el Señor Santiago, y fanales; monta 34 cañones y arbola tres palos y bauprés en el espolón; castillos alterosos, el de proa retraído a popa para defenderse; los costados se recogen en las bordas y se refuerzan con fuertes cintones; las amuradas se recrecen con falcas para protección; aún los palos machos soportan grandes gavias y son de un solo árbol, y los masteleros, incipientes, muy cortos.

tana y la Almiranta. En ocasiones eran ayudadas por los navíos de la Armada de Barlovento. En 1569 se diferencian totalmente las salidas de las dos flotas que van a Indias: la Armada y Flota de Nueva España, con destino a Veracruz, que saldría en abril; y la que iba a Nombre de Dios (y años después a Portobello), en Tierra Firme, que saldría en agosto.

La Armada de la Guarda de la Carrera de Indias se creó para escoltar a la Flota de Tierra Firme durante toda su derrota. Se la denomina Galeones de Tierra Firme, o simplemente los Galeones. Y por este nombre llegan a conocerse, por extensión, todos los barcos que navegan en dichas flotas.

La Armada de Barlovento, cuya misión era limpiar las aguas del Caribe de piratas y evitar el comercio ilegal, se esbozó en 1535, con 3 carabelas y 3 navíos gruesos de armada, pero no se constituyó hasta 1595, como heredera de las escuadras de galeras y carabelas de 1543, y sobrevivió hasta 1750. Los navíos que la compusieron fueron fabricados en Campeche y en La Habana con maderas tropicales y palos de Pensacola y la Florida y demostraron ser muy superiores a los que se hacían en el Cantábrico por entonces, hasta el punto de que su Capitana se dedicó a la Armada del Océano.

La Armada del Mar del Sur protegía la navegación entre el Virreinato peruano y el istmo de Panamá. En 1519 se había concedido una capitulación con Andrés Niño para fabricar dos navíos de 150 toneles sobre la Mar del Sur de la Tierra Firme. Y en 1535 Carlos I autoriza la construcción de cualquier tipo de navíos en el Mar del Sur de Guatemala, cuando había en sus astilleros 3 galeones de 100 toneles.

El galeón de Manila, nao de Acapulco o navío de China, constituía un caso singular. No forman escuadras, ni protegen a ningún convoy o flota. En 1565 consiguen realizar el tornaviaje de Manila a Acapulco López de Legazpi y Andrés de Urdaneta, en la nao San Pedro. Se abre con ello una ruta de 130 días a lo largo del paralelo 42, que será seguida por más de doscientos cincuenta años.

El galeón de la primera mitad del XVI

La evolución del galeón fue muy lenta. Aunque una Real Ordenanza de 1501 prescribe que se construyan carracas para perseguir a los piratas, y se premia la construcción de naves con más de 150 toneladas, todavía en 1521 sólo se usan carabelas armadas para proteger a las naves que viajan en el tráfico de las Indias. La solución que se adopta incluye formar pequeñas armadas de tres a cuatro naves de unas 60 toneladas, generalmente carabelas y galeras que patrullan entre los archipiélagos hispanos y los cabos de la Península. (La unidad de medida del volumen de carga de las naos fue el tonel, igual a dos pipas, unos 8 codos cúbicos. Era "tonel macho" o sólo "tonel" si eran 8 codos cúbicos de ribera, o sea 1,5183 metros cúbicos, y era una tonelada si medía 8 codos cúbicos castellanos, o sea, 1,3844 metros. A partir de 1590 se usa sólo el tonel macho, por lo que toneles y toneladas deben considerarse iguales unidades de medida del volumen de carga.) En 1537 sale por vez primera una Real Armada, compuesta de velas latinas al mando de Blasco Núñez Vela, para escoltar el retorno de la primera "flota del tesoro".

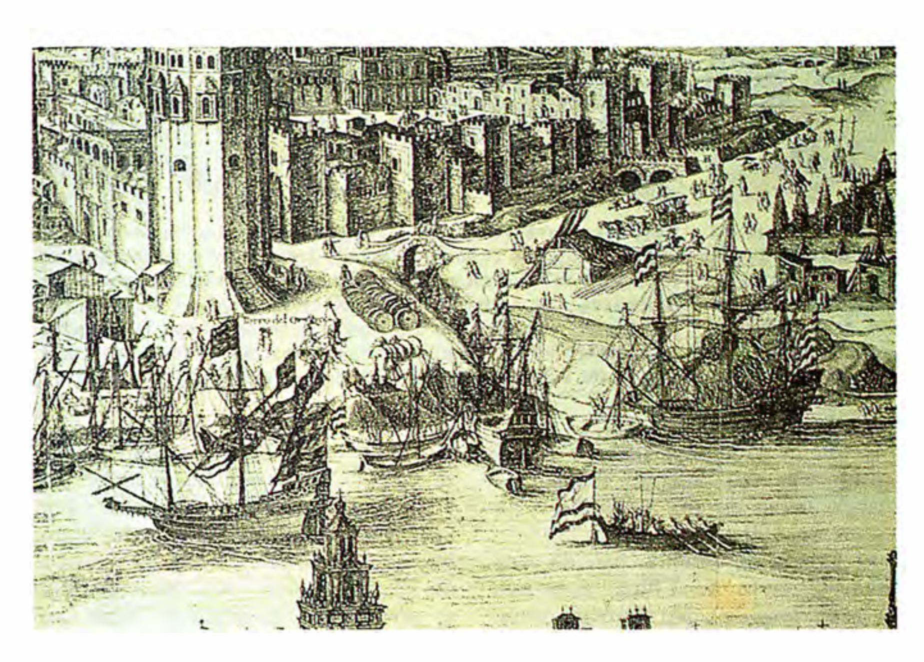
Los antedecentes inmediatos de los galeones son, pues, naves armadas para defenderse, no para atacar. Hasta 1550, se utilizan naves armadas para traer caudales de las Indias o proteger a las mercantes, pero no se pueden considerar galeones. En este año se promulga la Orden por la que se establece que con todas las flotas deben ir dos naos más armadas, una por "Capitana" y la otra por "Almiranta".

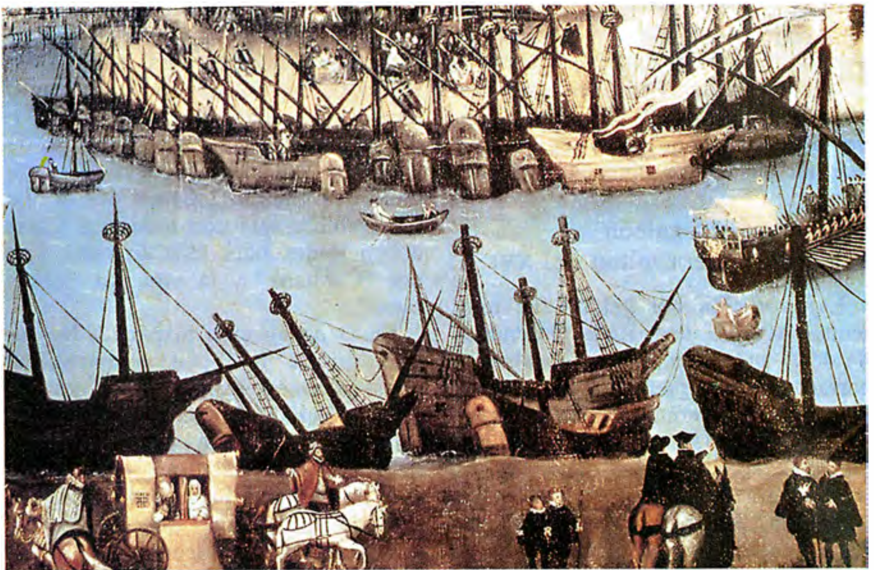
En la navegación hispana a las Indias no se incluyen registros de naos-galeones hasta 1524, con la 'Santa Elena', de unos 180 toneles. Posteriormente, se registran sólo naos-galeones aisladas, hasta 1538, año en el que, para proteger a las naos de los corsarios franceses, se registran de 3 a 7 galeones de 180 toneles cada año. También se usan naos armadas para llegar a las costas del Mar del Sur. El porte de los galeones que van a Indias aumenta hasta alcanzar los 375 toneles en 1549.

Entre los primeros galeones que se citan destacan los dos que Alvaro de Bazán ofrece en un histórico asiento con el Emperador, en 1540, para la guardia del Mar Poniente de España, desde Gibraltar hasta Fuenterrabía, que entre ambos medían 1300 toneladas. Con ellos, integrados en una armada permanente con dos galeazas de 800 y de 1200 toneladas, se quie-

re hacer frente a los ataques de los corsarios franceses, que no cesan hasta 1550. Tanto estos dos primeros galeones como los que el propio Bazán asienta en 1550 por diez años, "gruesos galeones de su nueva invención", y cuya traza se desconoce, son galeones novedosos y por tanto anómalos en su tamaño y proporciones, que no pueden tomarse como habituales ni característicos de la España de la primera mitad del XVI.

(En esta misma línea innovadora, y con la misión de defensa preventiva, su hijo, el primer Marqués de Santa Cruz, propone doce años más tarde las primeras "fragatas", embarcaciones mixtas con remo y vela, para servicio de descubierta y caza, que toman su nombre de las aves rapaces marinas tropicales a las que quieren emular en su agresividad y potencia.)





4. EL PUERTO DE SEVILLA en 1580 (*arriba*) y en 1616 (*abajo*). En el Arenal se habían establecido las primeras atarazanas reales de Fernando III, en 1249. La Pragmática de 20 de enero de 1503 establece en Sevilla la Casa de la Contratación de las Indias y abre para esta ciudad la época más esplendorosa desde los árabes. En el Arenal se trataba todo lo que llevaban y traían las naos de la Carrera, se establecía toda suerte de almacenes y la maestranza de carpinteros, calafates y toneleros. Se daban las carenas y se hacían en los bajeles las reparaciones exigidas por los visitadores de la Casa antes de partir para las Indias. Las mejores naos eran elegidas y armadas como Capitana y Almiranta de las Flotas, convertidas así en "galeones" para la expedición. Treinta años de comercio con las Indias desde la imagen precedente hacen de Sevilla un emporio del comercio europeo (*abajo*): la organización de las flotas exige una organización paralela de la ciudad y de su frente marítimo en el Arenal, convertido en un puerto que compite con Lisboa y Amberes. Las naos aumentan su porte, los galeones su especialización y la ciudad su dedicación como puerta de las Indias, hasta que el calado de la naos les impide pasar la Barra de Sanlúcar con seguridad. (Museo de América.)

Difieren las naves españolas de esta época de las portuguesas que cubren la conexión con la India y, con frecuencia, sobrepasan las 800 toneladas. El galeón portugués muestra una clara relación con la galera, de la que es fácil que evolucionara, y se distingue también claramente de las grandes carracas o "naus da Carreira da India". Posteriormente, durante el período de la unión peninsular, los galeones y las carracas portuguesas acaban en un solo tipo que se denomina "galeâo".

También se diferencian los galeones españoles de los ingleses. La marina inglesa del s. XVI incluye, al principio, grandes carracas, como la 'Mary Rose' de Enrique VIII, y luego galeones que son concebidos como naves armadas para el ataque. Así son los galeones ligeros de Hawkins, Drake, Raleigh y Howard: barcos de porte mediano o pequeño, finos, rápidos y maniobreros, ideados para hostigar al enemigo español con fuego artillero a distancia, evitando su abordaje, en el que eran superiores.

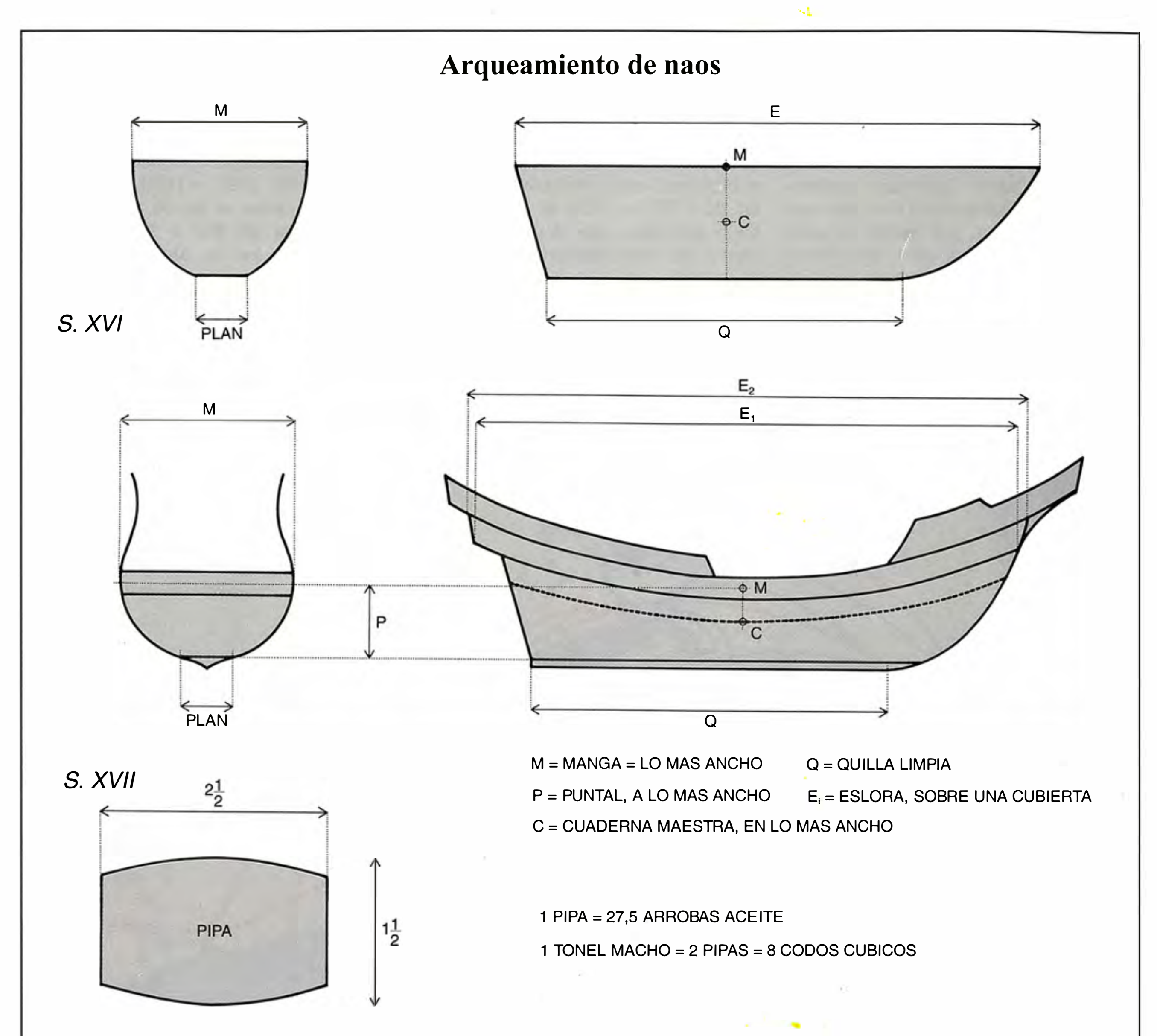
Tonelaje y armamento a bordo

Los galeones españoles se van concretando como naves con alto bordo para la pelea cercana, con gran fortaleza para aguantar la mar y las armas a bordo, y con más armas y gente que las naves mercantes. Pero la traza de unos y otras es similar. Es más, con frecuencia se toma una nao para hacerla galeón, mediante una conversión que debe incluir reforzar la estructura, aumentar las armas y el lastre, y despejar las cubiertas para embarcar más gente. Al mismo tiempo, se pueden modificar las superestructuras, alzándolas más.

En los textos de Alonso de Chaves y otros se especifica el armamento que debían llevar las naos de mercante: para una de 200 toneladas, 6 lombardas gruesas, 4 pasamuros y 40 versos, amén de armas blancas y arrojadizas para el combate con barcos aferrados en abordaje. Hasta la campaña de Inglaterra los galeones españoles están diseñados para vencer en el abordaje e incluyen castillos altos y retraídos de la proa y de los costados, cuarteles de costado y jareta de protección en el combés, toldas y alcázares alterosos para dominar a la nave enemiga.

En el último tercio del siglo apa-

Arqueamiento de naos



El arqueo es el resultado de medir la capacidad del buque por medio de arcos que representan los aros de hierro de los toneles o pipas. Se expresa en número de toneles machos, cada uno de 8 codos cúbicos de ribera y equivalente a 2 pipas de 27,5 arrobas de agua. Cuando los barcos tienen unas proporciones, trazas y fortaleza normalizados por el uso, se establecen fórmulas que permiten hallar la cabida del barco, o buque, sin necesidad de "arquearlo" propiamente llevando un aro o arco por sus bodegas. Dependiendo de estas proporciones y formas, se utilizan unas medidas u otras. Así, cuando el "plan" es la mitad de la "manga" y ésta es máxima en un puntal de su mitad, y las proporciones son de "as-dos-tres" para manga-quilla-eslora, se estima el arqueo por el producto:

(manga/2) * (puntal) * (eslora)

es decir, se usan tres dimensiones que se pueden medir bien con la nao cargada y a flote.

Cuando las proporciones 1-2-3 ya no se mantienen, pero aún se usan las mismas trazas para las naves, el volumen del buque se calcula substituyendo la eslora por una longitud media:

(manga/2) * (puntal) * (media de eslora y quilla)

Posteriormente, (1560), se reduce el volumen del buque en un tercio, para tener en cuenta los delgados de los extremos, y se usa:

(2/3) * (quilla) * (manga) * (puntal superior)

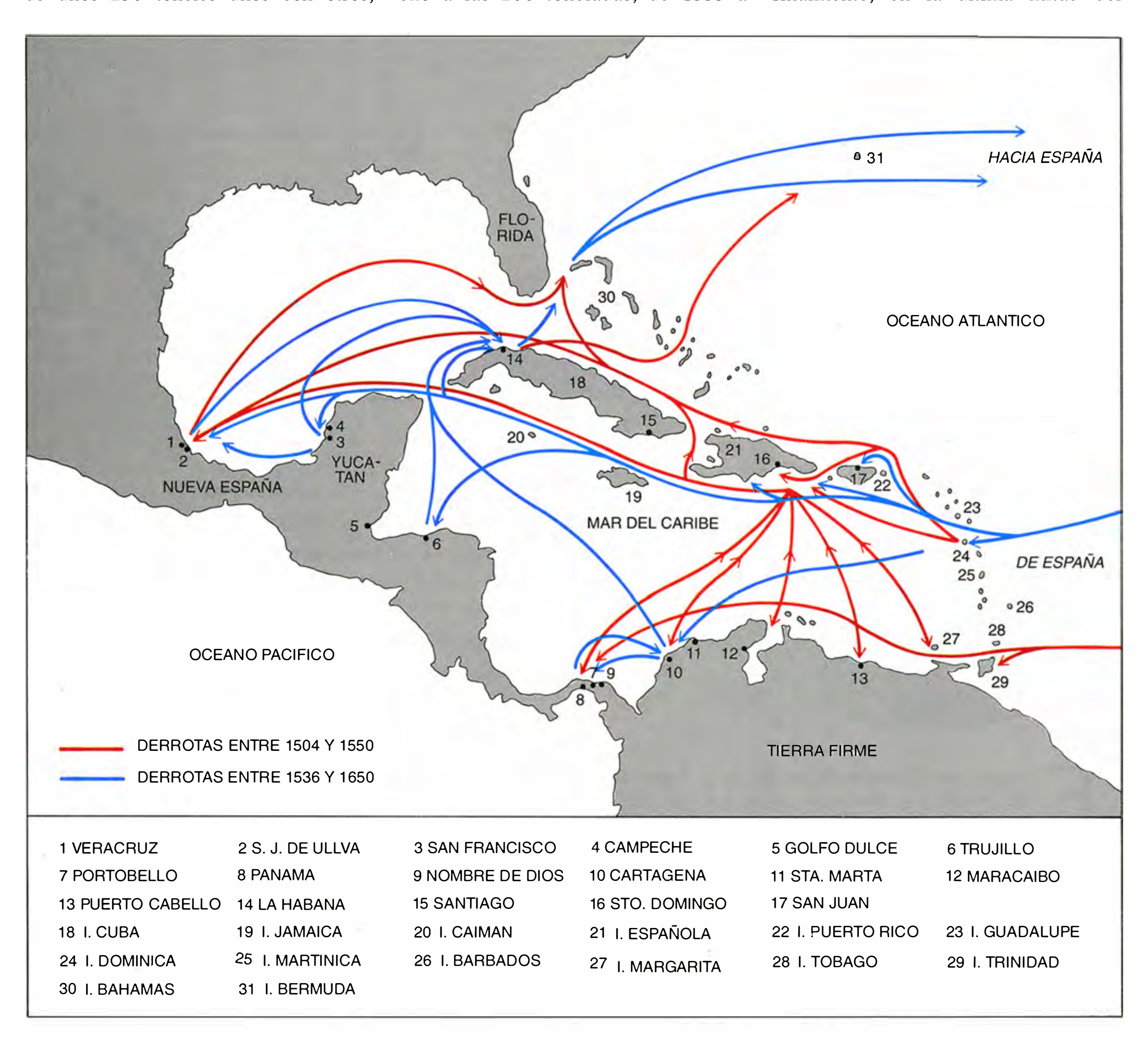
Rodrigo de Vargas propone en 1570 otra fórmula que tiene en cuenta las medidas en la altura de la manga máxima:

(eslora) * (cuarto de manga + semi-puntal)^2

Entre 1563 y 1590, Cristóbal de Barros afina aún más el arqueamiento e introduce un descuento del 5 % por "delgados, árboles, baos y bombas", y un aumento del 20 % para los navíos de armada. Las Ordenanzas de 1607 incorporan las variaciones de la "nueva fábrica de Rentería", que Tomé Cano atribuye a Juan de Veas, y la Ley de Arqueo dada en Ventosilla en 1613 recoge la variación de las proporciones de manga-puntal-plan-quilla-eslora y corrigen el arqueo según las medidas reales: por la relación plan-manga por el puntal de la primera cubierta y el de la manga máxima. Las medidas españolas de longitud fueron, fundamentalmente: la vara castellana (835,9 mm); el codo (557,3 mm el castellano y 574,7 el real o de ribera); el pie (278,6 mm el de Burgos); y el palmo (209 mm).

recen los primeros galeones reales. En el estado de general inquietud que provocan las agresiones de los navíos ingleses en las Indias se encarga en 1567 al Adelantado de la Florida, Pero Menéndez de Avilés, la construcción de unos "galeones agalerados". Son los primeros Doce Apóstoles. Estos galeones, que tenían un porte de unos 230 toneles unos con otros, sirvieron en varias flotas y fueron la base de la siguiente Armada de la Guarda de la Carrera de Indias.

El número de galeones y los tonelajes medios de estos barcos de armada que hicieron la carrera de las Indias evolucionó con crecimiento constante: de 1537 a 1552 se emplean más de 6 galeones, que llegan como mucho a las 200 toneladas; de 1553 a 1562 el número desciende a 2, con igual tonelaje; de 1563 a 1577 suben a unas 4 las naves de armada, y el tonelaje medio a más de 300 toneladas; entre 1585 y 1589 el número aumenta hasta 10 galeones y 400 toneladas; de 1592 a 1650 la media de naves armadas es de 16 y su tonelaje medio pasa de 400 a 500 toneladas; finalmente, en la última mitad del



5. RUTAS DE FLOTAS Y GALEONES DE INDIAS. La "ruta de los galeones" partía de la costa andaluza, rumbo a la costa africana y a las Canarias, derrota que duraba unos 7 u 8 días. En las islas se hacía escala y avituallamiento, hasta que en el siglo XVII se prohibió el desembarco. De las Canarias la Flota viraba al suroeste y continuaba al oeste aprovechando los vientos generales, sin alterar el rumbo hasta no estar a la vista de la Deseada, Guadalupe u otra isla. A veces, la Flota de Tierra Firme entraba a la costa venezolana por el canal entre Tobago y Trinidad, que se llamó después Pasaje de los Galeones. Esta derrota duraba de 25 a 30 días. A partir de La Deseada, la Flota de Tierra Firme seguía rumbo SO al Cabo de la Vela, y de allí a Cartagena, a donde llegaba a las 6 o 7 semanas de haber salido de España. Por el contrario, la Flota de Nueva España se apartaba en Deseada en dirección NO, pasando por Santa Cruz y Puerto Rico, a la vista de las islas de Mona y Saona, hasta la bahía de Neyba, en La Española, donde se tomaba leña y aguada. Desde aquí la Flota navegaba frente a Cabo Tiburón, Cabo de la Cruz, Isla de Pinos, Cabos Corrientes y San Antonio, en el extremo occidental de Cuba. El último tramo, de San Antonio a la Vera Cruz, podía seguir dos rutas, una interior o de invierno, y otra exterior o de verano. La interior se extendía al NO, lejos de los arrecifes de Alacrán, para bajar luego a Vera Cruz; la exterior seguía la costa de Campeche, entre cayos y bajíos, hasta llegar a Vera Cruz subiendo el canal del SE. Entretanto, tenía lugar la feria de Portobello y, mientras los galeones andaban por las Indias, los españoles mantenían todos los puertos cerrados por temor a que sus rivales europeos adquirieran noticia de los movimientos de la flota y del valor de su cargamento.

siglo XVII, aunque el número se reduce, los portes se duplican, y los galeones de Indias igualan y sobrepasan a los del Océano.

Características de construcción

En los primeros contratos de construcción del siglo XVI se contienen sólo las tres o cuatro dimensiones esenciales de la nao y galeón: manga, puntal, quilla y eslora; de las formas sólo se hace mención a la traza (modelo de formas) del maestro constructor y la estructura se deja a la fábrica (construcción) del mismo. Se deduce de esto que la forma de construir estaba ligada a las formas del casco. En otros documentos se menciona como primera la traza de plantilla única y completa, usando un solo arco circular.

Las cuadernas se arman sobre la quilla, uniendo las piezas que las componen con escarpes y pernos. Estas piezas, que se empalman siguiendo el contorno del vaso para formar las costillas, toman distintos nombres, a partir de la quilla. Primero, se usan estamenara y barraganetes; luego, varenga-genol-barraganete; finalmente, se emplea varenga-genol y varias ligazones hasta el barraganete. El trazado se hace sobre los maderos cortados con su curva natural, y se desecha la madera que sobra, quitando tal cantidad de astillas que dan el nombre al astillero.

Este método desperdicia mucha madera. Ante su escasez, surge la necesidad de trazar los planos de todas las cuadernas cuando se quiere armarlas con piezas menudas, para aprovechar el material mejor, lo que parece ocurrir primero en los astilleros ingleses, que, además, usan secciones compuestas con varios arcos circulares, ya en el s. XVII. Con los planos se asegura también la igualdad de las medidas de los bajeles de una serie. Para generar la superficie del casco esta plantilla única debe llevarse desde la maestra hacia popa y hacia proa, levantándola según la forma de los delgados o raseles y metiéndola según la manga del plan. Tanto los raseles como el plan se generan a su vez con la curvatura que toman listones de madera que se apoyan en cinco secciones básicas: la maestra, en el centro de la eslora; las cuadras, en los cuartos de ella; la roda de proa y el codaste de popa. Estos listones se denominan bagaras (origen de las vagras actuales), y se sitúan: unos en los extremos del plan, que son las cabezas de las varengas, o puntos de escora o escora; otros en los puntos de manga máxima, que determinan el puntal, y también el calado. Posteriormente, cuando el tamaño del bajel requiere mayor número de ligazones, se usan otras bagaras para situar las cabezas de estos elementos en líneas continuas, sobre las que se arman.

Está claro que la variación de la roda de proa y del codaste en popa determina un cambio en las formas de los extremos. El codaste cambia su ángulo con la quilla y se hace con el tiempo más vertical. La roda, que comienza siendo un cuarto de círculo, se hace también, cada vez, más empinada, dejando de ser tangente en su pie al codillo de proa o extremo de la quilla. Por otra parte, la importancia de roda y codaste es grande para el buen comportamiento en la mar de la nave. También influye la posición de las cuadras. Estas dos secciones se sitúan, inicialmente, en el final del fondo plano, cuando el plan pierde su manga, y se conocen como almogamas (del árabe "almochama", lugar de unión o encuentro de las tablas); luego se alojan en los cuartos de la eslora, y se llaman cuadras; y cuando la de proa se sitúa más a popa se llama mura o amura.

En el último tercio del s. XVI se reparten las variaciones de la plantilla de la cuaderna en altura, por medio de las pujas, y en la manga, usando las grúas. Son unas reglas de madera en las que se hacen una marca para cada cuaderna, según el constructor. Al principio sólo se usan la puja y la grúa de varengas, cuando el arco de la plantilla única de los genoles es circular y se mueve paralelo a sí mismo. Luego se modifican las plantillas y se complican las curvaturas, y se hacen necesarias otras reglas para variar los arcos: aparecen las grúas de genol. Pero cuando los vasos se alargan para conseguir velocidad, pierden estabilidad para la artillería y se hacen necesarios dos remedios: el lastre y los embonos. El primero aumenta el calado a costa de perder capacidad de carga útil; los segundos aumentan la manga con forros excesivos y pesados.

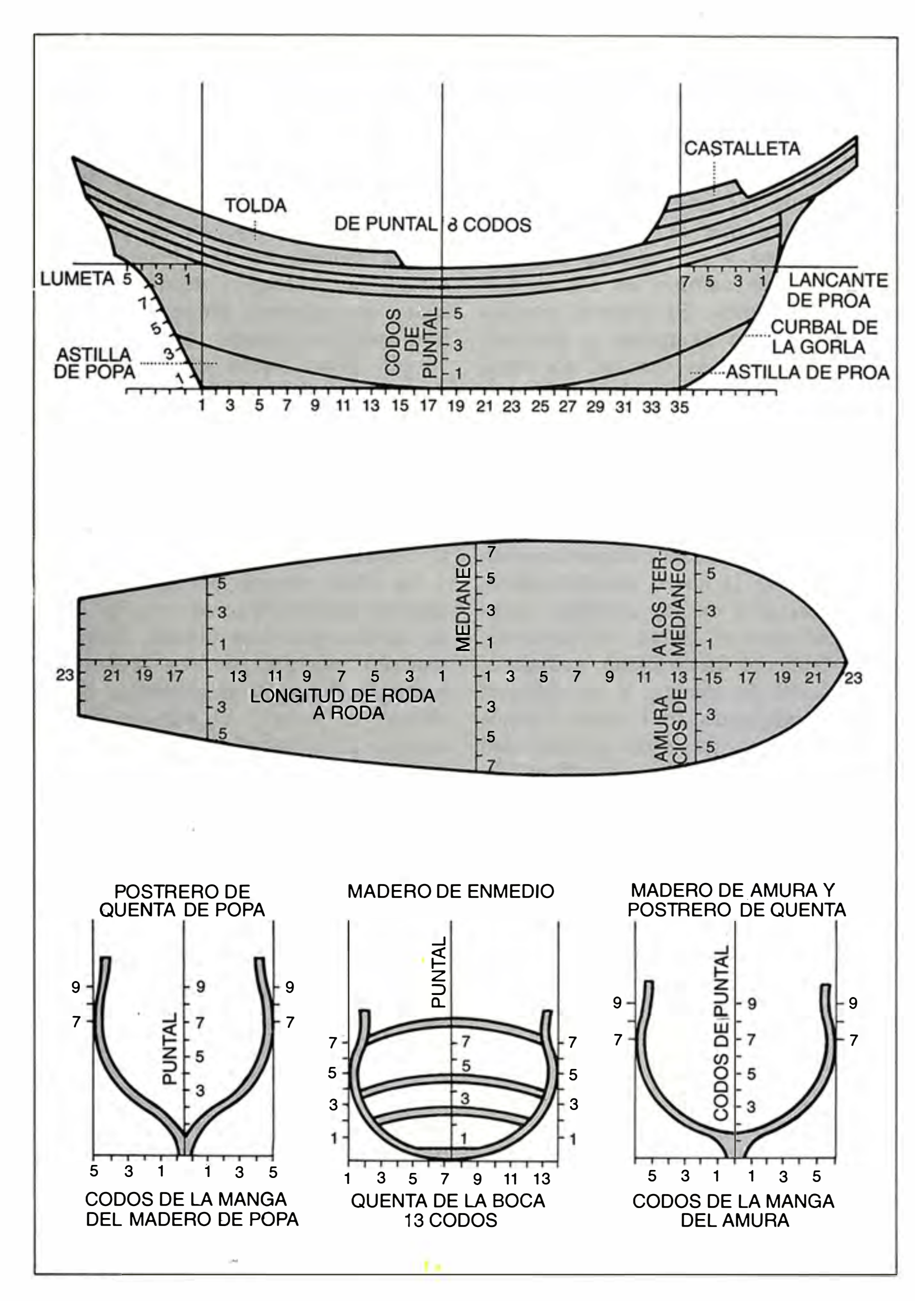
La solución la encuentran los constructores españoles en una nueva plantilla: son las jobas. Se citan por vez primera en las Ordenanzas de 1613. Las jobas permitirán abrir o cerrar los arcos de las secciones, manteniendo su forma, y constituyen la solución más sencilla y práctica para poder variar las formas de los delgados sin cambiar las plantillas de curvas. El método continúa vigente todo el siglo XVII, hasta que Gaztañeta propone el trazado de planos con arcos circulares, para cada cuaderna, en 1712. En las mismas Ordenanzas de 1613 se incluyen también por vez primera las medidas normalizadas para el yugo, la astilla muerta y el arrufo. El yugo, que es la pieza resistente de la popa, forma una cruz con el codaste y determina la manga del navío en su popa. La astilla muerta es la elevación que toman las varengas desde la quilla hasta su extremo, hacia el costado, haciendo el fondo en forma de "uve". Esta forma está justificada tanto por la buena hidrodinámica del vaso como por la seguridad en la navegación con escoras y en las varadas. El arrufo o rifadura es la curva que toman las cubiertas, que se levantan en los extremos más que en el centro de la nao.

La obra muerta del galeón sufre grandes transformaciones a lo largo de su historia. Las bordas, llamadas también mareaje, se van levantando sobre la flotación al aumentar la artillería, el porte y el número de cubiertas. Los costados así levantados, tanto en el combés como en la popa, se recogen hacia adentro, con lo que no quedan al alcance del navío enemigo en el abordaje, y pasan menos de la vertical en los balanceos. A los primeros alcázares, cubiertos con la tolda a popa del palo mayor, se les añade primero la toldilla, elevándose la popa exageradamente, hasta que la táctica del combate naval a distancia hace innecesarios tan altos bordos. Y lo mismo le ocurre al castillo de proa, que comienza siendo una construcción de combate, adosada al palo trinquete y desaparece cuando se abandona la táctica del abordaje.

Galeones del Rey

Felipe II convoca el primer debate moderno sobre construcción naval. Diego Flores de Valdés, Cristóbal de Barros, Pedro de Sarmiento, Juan Martínez de Recalde, y las Juntas de Santander y Sevilla, intercambian sus pareceres durante todo el año 1581 para definir las trazas, proporciones, medidas y fortalezas de los nuevos galeones, los "reales", que acaban siendo nueve. Se fabricarían en Guarnizo, entre 1582 y 1584; la Capitana y la Almiranta serían de 400 toneladas, y los demás de a 300.

Durante los siglos XVI y XVII se mantienen las trazas; las proporciones evolucionan hacia vasos más alargados y se conserva la fortaleza de los maderos. Las trazas de las cuadernas eran circulares, con radios del orden de la mitad de la manga máxima, en la primera cubierta. Las medidas fundamentales siguen la



6. GALEONCETE de D. García de García de Palacio (1587). Presentada como nao de 150 toneladas, tiene: 46 codos de eslora; de manga 14 en la maestra, 12 en la amura y 10 en el postrer madero de cuenta; 34 de quilla; de puntal 8 en el centro, 7 en el costado y 6 en la manga. Son las características propias de un galeoncete, aunque poco alteroso: castillo en proa, con los costados recogidos en la cubierta y gran vuelo del bao.

proporción de puntal = 0,5 a 0,67, manga = 1, quilla = 2 a 3 y eslora = 3 a 4. Las quillas tenían escuadrías cercanas a un codo cuadrado, que se afinaban a los 3/4 en el codaste y en la roda. Mientras fue posible se hicieron con un solo tronco de haya o de roble. El codaste era, preferentemente, de un solo madero, pero la roda había que componerla con maderos curvos ensamblados. Las varengas y demás elementos de las cuadernas se armaban con maderos curvos de medio codo de grueso, y el número de "maderos de cuenta", o con varenga, era de unos 3/4 de la longitud de la quilla en codos, lo que dejaba cerca de 1/4 de la quilla para armar los extremos, es decir, donde en lugar de varengas se usaban picas, o piezas en forma de "V" más levantada. Los baos, de una sola pieza, eran maderos curvos de medio codo de grueso, y más de altura que se ponían en una hilera inferior, sin entablar, separados el tamaño de las pipas. La estructura se cubría con tablazón de 2/3 de codo de ancho y gruesos que iban de 1/5 en la quilla a 1/7 o 1/8 en las obras muertas.

La primera consecuencia del fracaso de la Invencible es redoblar los esfuerzos para dotar a España de más y mejores galeones reales. Pero la construcción de Galeones del Rey es cara y consume largo tiempo en las deliberaciones y decisiones, ambos problemas de importancia para el Tesoro y la Armada. Y la solución definitiva a los problemas de la Real Hacienda se encuentra cuando la Casa de Contratación financia una armada permanente de 10 galeones con 80.000 ducados (1591). Nace así el sistema de Asientos que va a ser la práctica habitual durante todo el siglo XVII.

La construcción de buenos galeones plantea a la Corona el problema de la calidad de las maderas y de los constructores. Así, en 1593 se ordena que no se dé registro para Indias a ninguna nao fabricada en astilleros de las costas de Huelva ni de Cádiz, y que "ni navegue en la Carrera de armada ni de mercante". Se prefiere la calidad demostrada de las fábricas del Cantábrico. La madera procedía de los bosques de las provincias septentrionales, hasta que se esquilmaron. Se empleaba el roble para las piezas de gran longitud, y la encina, sólo al principio, para algunas curvas; para la tablazón exterior se usaba el pino de Utrera, y con preferencia el de Prusia, y luego Escandinavia, para los árboles; las velas eran de lino de Holanda o de "olona" y los cordeles de las jarcias se tejían de cáñamo de Calatayud, y luego de Riga y Holanda. La brea para calafatear se hacía en Vizcaya, pero el alquitrán era de Moscovia.

La construcción naval en las Indias

Las construcciones navales en los astilleros de Indias se consolidan con las fábricas de La Habana, Guayaquil, Cartagena, Veracruz y Campeche. En ellos se habían construido saetías, y unas fragatas muy buenas en La Habana que hizo P. Menéndez de Avilés en 1589, y se fabrican otros barcos menores, como carabelas y galeras, y se asientan galeones en La Habana (1609).

Los materiales americanos demuestran una duración de dos a cuatro veces mayor que los peninsulares y europeos, pero hay que enviar allí las anclas, arboladura, jarcia y estopa, de lo que carecen. Entre las maderas más usadas en las Indias se cuentan: caoba, sabicú, palo de Maracaibo y pino de Florida, en el área del Caribe; teca, lauán, guijo y molave en las Filipinas. Y la introducción del abacá para la jarcia redujo su peso y aumentó considerablemente su eficacia.

El galeón en el XVII

A principios del XVII el galeón ha adquirido ya su perfil definido. Las medidas que debe tener se establecen por la Ordenanza de 1607, que configuran con claridad unas naves de guerra y por ello desatan la oposición de los fabricadores de Guipúzcoa, a los que conviene más construir naos de carga para emplearlas en la Carrera que galeones para las armadas del Rey. El pleito, en el que intervienen Juan de Veas, Diego Brochero y Diego Ramírez, acaba en la redacción de unas nuevas Ordenanzas en 1613. Entretanto, se fabrican 6 galeones en La Habana (1613) y comienza un período en el que se prefieren en la Casa los navíos criollos a los de los guipuzcoanos.

De esta época (1613) data la primera Cédula de Ventosilla sobre el modo de medir y arquear las naos, ampliada el año siguiente, que constituye el primer Reglamento de Arqueo conocido. Se conoce entonces como "arqueo" a la medida de la capacidad de carga de una nave, expresada en número de pipas o toneles. Las distintas Ordenanzas Reales, que se suceden desde la de 1607, pretenden resolver el problema que plantea la barra de Sanlúcar a la necesidad de usar vasos con mayor porte, llevar carga y armamento, y tener fortaleza suficiente para la navegación a las Indias.

Las Ordenanzas que se van dictando a lo largo del XVII nos ilustran las modificaciones de las nave. Así, en la de 1613 se manda alargar la quilla respecto de la manga y con ello se penaliza el arqueo en relación con la quilla. Fueron un fracaso en su aplicación. Las Ordenanzas de 1618 acortan la quilla en 2 codos para todas las naves, que ya no se llaman "galeones" sino "navíos", y vuelven a aparecer los quebrados de proa (para la bita) y de popa (para la caña y el pinzote).

El galeón, debido a su origen en la nao y a su misión de escolta en las flotas, no navegaba, generalmente, a más de seis nudos. La necesidad de disponer de navíos más veloces para responder a los ataques de los enemigos, motiva la investigación para cambiar las trazas, los portes y las proporciones. Así se tiene el galeón de dos andanas de Juan de Amassa (1628) y las propuestas de fragatas y galizabras de 1626, que no llegaban a las 300 toneladas. Se trataba de mejorar la movilidad en el combate, haciéndolos más finos y con la artillería repartida en dos cubiertas para no entorpecer su uso.

En la década de 1630, la escasez de vasos apropiados para las flotas de la plata lleva a la Junta de Guerra a tomar la decisión de convertir en galeones meros barcos para la carga del tesoro, sacando para ello los mejores cascos de la metrópolis, reforzándolos para la carga y para la mar, armándolos y aderezándolos, es decir, substituyendo algunos maderos y reponiendo los elementos de jarcia, velamen y maniobras. A cambio, la escolta se confiaría a embarcaciones extranjeras y urcas.

En su propuesta de 1635 Juan de Amassa ofrece fabricar un galeón de 18 a 20 codos de manga, que "no pescando más agua que los navíos de la misma manga que hoy navegan de mercanta y llevando la misma carga que ellos jugase con efecto las dos andanas de artillería con 50 piezas sin que le embarazase la carga".

Los galeones españoles se usan para el tráfico con las Indias, pero no para defender sus aguas, ni unas islas y puertos que están, con frecuencia, poco guarnecidos y menos poblados. A las calamidades que la mar impone a nuestros barcos y el escollo de la barra, hay que sumar la continua acechanza de las naves francesas, holandesas e inglesas.

En el Atlántico europeo las cosas no van mejor para las armadas de Felipe IV. La destrucción de los astilleros del Cantábrico por los barcos de Richelieu, la pérdida de los 14 galeones de Guetaria (1638) y el desastre de las Dunas (1639) arruinan la capacidad de construir barcos en España. Desde 1640 se viene produciendo un rápido crecimiento del tamaño de las grandes naos de guerra españolas, como son las Capitanas de la Armada del Océano.

A este crecimiento contribuye, posteriormente, el traslado de la cabecera de las Flotas a la bahía gaditana, en 1680, con lo que se elimina la restricción del calado por la barra de Sanlúcar.

XVIII: muerte del galeón

Los últimos galeones españoles mueren sin mucha gloria en los desdichados sucesos en los que las funestas alianzas reales los complican azarosamente. Así ocurre con los 22 barcos que, el 11 de junio de 1702 zarpan de La Habana rumbo a Cádiz, escoltados por 23 barcos de guerra de Francia por carecer España de ellos. Se recuerdan como "galeones" por el mimetismo del nombre de los que solían escoltarlos a Tierra Firme. Acechados por una armada anglo-holandesa de 50 naves de guerra y más de 100 transportes se refugian en la ría de Vigo. Catorce "galeones" fueron descargados y luego quemados en el fondo de Rande el 23 de octubre, y 5 fueron apresados por Rooke.

En 1705 sólo quedan la Capitana y la Almiranta de la Armada del Océano, y se les da fondo en Puntales para impedir el acceso del inglés a la bahía de Cádiz. La llegada al trono de España del primer Borbón coincide con la puesta en práctica de las nuevas ideas que, sobre la Construcción Naval proponen Gaztañeta y otros técnicos españoles.

Desde la Corona se dicta el 21 de febrero de 1714 que todas las fuerzas marítimas españolas se denominen Real Armada, en lugar de los nombres de las escuadras de provincias que tenían hasta entonces. Todavía en 1720, tres años después de las Ordenanzas Navales de Patiño, se da el Reglamento de Galeones, con el nombre de "Proyecto para galeones y flotas del Perú y Nueva España y para Navíos de Registro y Avisos". Pero van a ser las "Proporciones" nuevas de Gaztañeta, adoptadas por Real Orden de 13 de mayo de 1721, las que substituyan los galeones por los navíos en la Armada Real de España.

Los nuevos tiempos aconsejan el traslado final de la Casa de Contratación a Cádiz, por Patiño (1729). Los despachos de Galeones y Flotas y el método de comerciar los residentes en Indias con España son objeto de una Real Cédula (1735), dos años antes de que saliera la última Flota de Galeones para Tierra Firme. Fue ésta la de Blas de Lezo, con sólo dos galeones, que ya se citan como "navíos de registro", que acompañan a seis mercantes. Sin embargo, las Flotas de Galeones desaparecieron cuando Vernon destruyó la plaza de Portobello (1739). Las Flotas de Nueva España aún continuaron saliendo cada tres o cuatro años, con unos seis navíos de registro, hasta la última, que lo hiciera en 1776 bajo el mando de don Antonio de Ulloa. El final de las Flotas de Indias lo decreta Carlos III en 1778 con el Reglamento de Libre Comercio para América (28 de febrero de 1789). Es, también, el fin definitivo de los galeones.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

LOS BARCOS ESPAÑOLES DEL SIGLO XVI Y LA GRAN ARMADA. J. L. Casado Soto. Ed. San Martín; Madrid, 1988.

LAS ARMADAS DE FELIPE II. R. Cerezo Martínez. Ed. San Martín; Madrid, 1988.

ARMADAS Y FLOTAS DE LA PLATA (1620-1648). F. Serrano Mangas. Banco de España; Madrid, 1989.

Cultivos transgénicos

La biotecnología crea plantas que resisten plagas y frutos que no se deterioran. La investigación experimental confirma la inocuidad de las mismas para el ambiente y su rentabilidad

Charles S. Gasser y Robert T. Fraley

Las prácticas encaminadas a mejorar las cosechas se vienen realizando desde hace al menos 10.000 años. Los primeros campesinos obtenían mejores resultados con sólo reservarse las semillas de las plantas deseadas. A lo largo de los últimos cien años, la mejora vegetal había entrado en raíles más rigurosos. Los cruzamientos controlados entre individuos de la misma especie permitieron un incremento significativo del rendimiento de las cosechas. Reciente es el progreso conseguido en el cruzamiento entre especies sexualmente incompatibles pertenecientes a una misma familia. Y ahora contamos ya con un método más prometedor para obtener plantas de interés: la ingeniería genética. Gracias a las técnicas de recombinación de ADN, los biólogos pueden dirigir el curso de segmentos específicos y útiles de material genético, de unos organismos a otros sin lazos de parentesco.

Semejante capacidad habrá de aportar no pocos artículos nuevos al rico muestrario de caracteres seleccionables por el mejorador. En el laboratorio, se preparan ya plantas resistentes a insectos, virus y herbicidas. Frutos que no se deterioren con tanta facilidad, y cereales más nutritivos y económicos.

No han pasado diez años desde que se crearon las primeras plantas transgénicas. De entonces acá, se ha aplicado la ingeniería genética a más de 50 especies vegetales. Las mismas técnicas han ayudado a conocer con mayor hondura los procesos fundamentales que gobiernan el desarrollo de los vegetales. La salida al mercado de las primeras plantas preparadas genéticamente se cifra de aquí a unos pocos años.

La mayor complejidad que, sobre la mejora vegetal tradicional, reviste la ingeniería genética obedece única y exclusivamente a razones de seguridad. Con ambos métodos, entra nuevo ADN en el genoma de la planta y se mantiene y expresa de manera estable. Un informe reciente de la Academia Nacional noreamericana de las Ciencias concluía que "los cultivos modificados por métodos celulares y moleculares no deben entrañar riesgos diferentes de los que podrían implicar los modificados por métodos genéticos clásicos, para caracteres similares".

Describiremos aquí los métodos que se utilizan en la manipulación molecular de las plantas, sus fundamentos y los progresos alcanzados en sus aplicaciones.

El primer sistema práctico —y el más socorrido todavía— de ingeniería genética vegetal se apoya en una propiedad innata de *Agrobacterium tumefaciens*. Esta bacteria patógena puede transferir un segmento de su ADN a las células de la planta. Se vale para ello de una serie de genes propios, que "viajan" en uno o más fragmentos de ADN de la bacteria. Tales fragmentos, designados ADN transferible (ADN-T), se integran en los cromosomas de la célula vegetal infectada e inducen la producción de elevados niveles de hormonas, que, a su vez, inducen la formación, por la planta, de tumores o prolíficas masas radiculares; estas nuevas estructuras suministran un ambiente apropiado y constituyen una fuente nutritiva para la cepa de *Agrobacterium*. La infección bacteriana recibe el nombre de enfermedad de la agalla.

Para que la bacteria fuera vehículo eficaz de transferencia de ADN, era preciso eliminar los genes que causan la enfermedad. Había que desarmarla. Y a ello se aprestaron, en 1983, investigadores de la compañía Monsanto y de la Universidad de Washington, el grupo de Jozef Schell, del Instituto Max Planck de Mejora Vegetal en Colonia, y el de Marc van Montagu, de la Universidad de Gante. Recurrieron a los métodos habituales en recombinación de ADN para desechar los genes causantes de los tumores; con ello se arruinaba su capacidad infectiva, pero se le dejaba intacto el mecanismo para transferir ADN.

El primer gen que recibió ese tipo de manipulación, construido con *Agrobacterium* a principios de los ochenta por los grupos del Instituto Max Planck y de Monsanto, confería a la planta resistencia contra el antibiótico kanamicina, un compuesto que inhibe el crecimiento normal de ésta. La ingeniería de la resistencia a la kanamicina representaba un auténtico progreso, por dos razones. Demostraba, en primer lugar, que las plantas podían expresar genes y proteínas foráneas; y, en segundo lugar, que la resistencia a la kanamicina constituía un interesante "marcador". Habida cuenta del número escaso de células que absorben, integran y expresan el ADN introducido, los marcadores genéticos ayudan al investigador a identificar las células en que los genes se han introducido con éxito.

Por ser totipotentes las células vegetales, podemos conseguir plantas enteras y capaces desde el punto de vista reproductor a partir de las células transformadas. (Llámanse totipotentes las células indiferenciadas que pue-

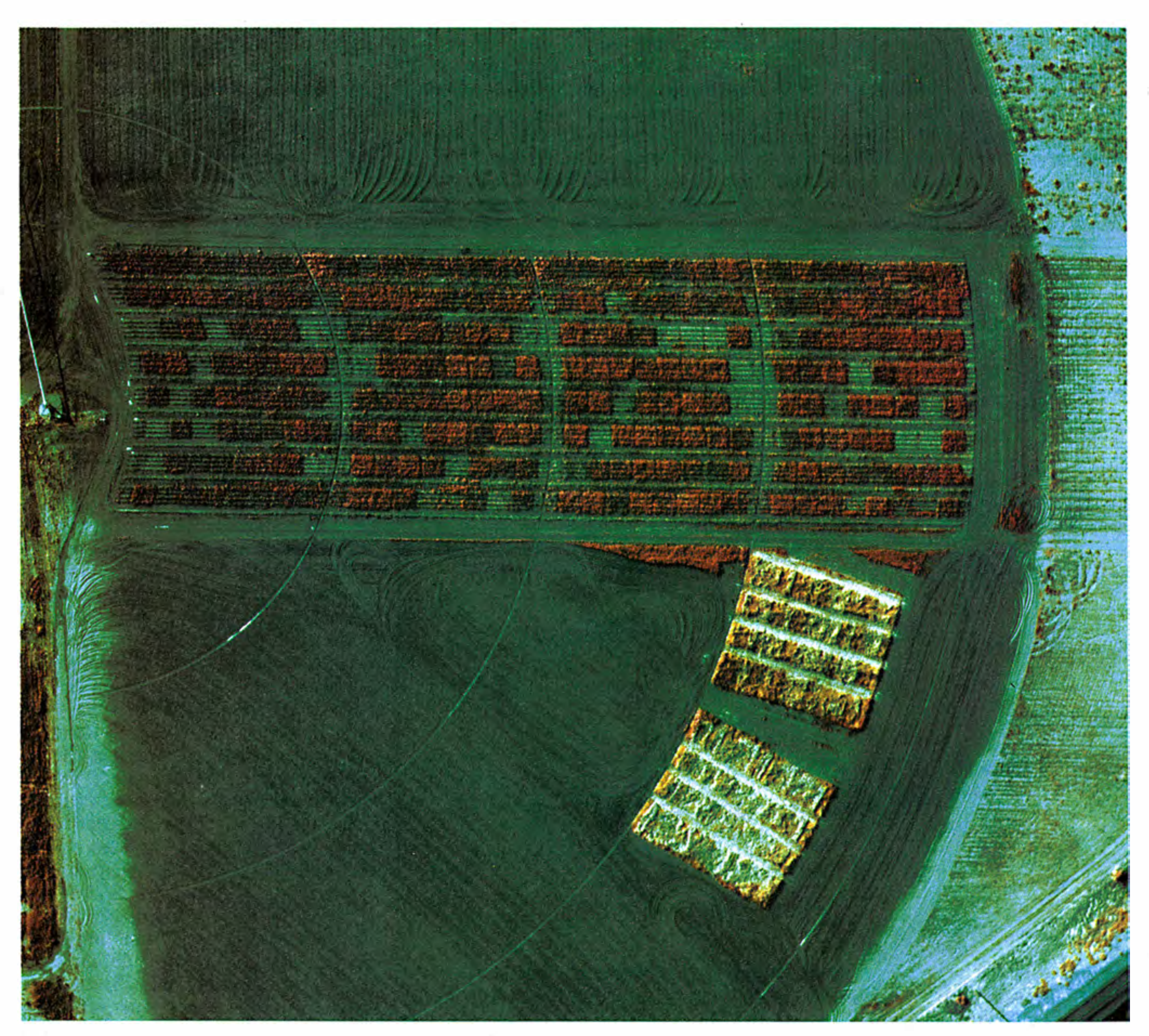
CHARLES S. GASSER y ROBERT T. FRALEY trabajaron juntos a lo largo de cinco años en mejora vegetal para la Compañía Monsanto, en San Luis. Gasser, profesor hoy de la Universidad de California en Davis, se recibió de doctor en biología molecular por la Universidad de Stanford. Emplea técnicas de ingeniería genética para estudiar el desarrollo de las plantas. Fraley, vicepresidente de Monsanto, se doctoró por la Universidad de Illinois. Pionero en el campo de la transferencia génica en vegetales, le absorbe ahora la comercialización de variedades creadas por ingeniería genética, en particular las que puedan aliviar el hambre de los países pobres.

den generar un organismo completo.) Hoy, la ingeniería genética vegetal se realiza, casi por entero, a partir de pequeñas porciones de la planta (explantes). Robert B. Horsch, que ha sido colaborador nuestro en Monsanto, ha popularizado el uso de una vulgar taladradora de papel para obtener pequeños discos de hojas, con los que llevar a cabo las técnicas mediadas por *Agrobacterium*. (Suele ir siempre con una de esas taladradoras en el bolsillo de su bata, lista para una improvisada demostración del método de transformación con los discos de hojas.) La transferencia de genes mediada por *Agrobacterium* se ha convertido en protocolo rutinario en cientos de laboratorios de todo el mundo. Sólo en Monsanto, se han obtenido por este procedimiento más de 45.000 líneas de plantas transgénicas independientes.

Aunque se trata de un método simple y preciso, muchas especies de plantas, incluidas algunas tan importantes como el arroz, el maíz y el trigo, no son hospedadores naturales de *Agrobacterium*, ni, por tanto, resulta fácil transformarlas por esa vía. De ahí el esfuerzo invertido en el desarrollo de sistemas alternativos.

Uno de los primeros consistió en introducir ADN libre en protoplastos vegetales. Es obligado emplear estas células que han perdido la pared protectora por acción enzimática, ya que los poros de dicho muro celular resultan demasiado pequeños y no permiten que el ADN pase fácilmente. La única barrera que presentan los protoplastos es la membrana plasmática, y ésta la atraviesa el polietilenglicol, denso polímero orgánico que transporta consigo el ADN. El polietilenglicol es el agente químico de uso habitual como transportador. El ADN cruza también las membranas sirviéndose de la electroporación, método que se basa en la producción de poros en la membrana plasmática mediante pulsos breves de alto voltaje. A través de esos espacios penetran las moléculas de ADN.

Al no depender de ninguna interacción biológica especial, estos procedimientos son, en principio, métodos generales de manipulación celular. Pero obtener la regeneración de plantas a partir de protoplastos aisla-



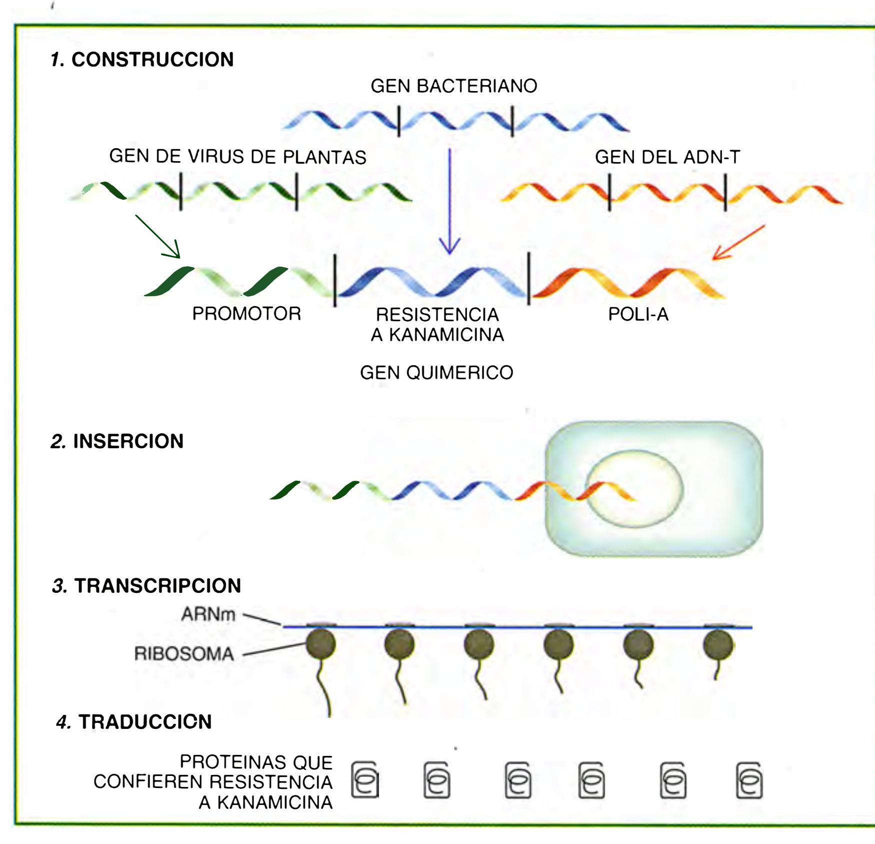
1. RESISTENCIA, obtenida por ingenieria genética, al escarabajo de la patata (*Leptinotarsa decemlineata*). Se puede comprobar en esta imagen aérea tomada con infrarrojos de un campo experimental de Hermiston, Oregon. Los escarabajos han desfoliado las plantaciones de patatas normales, dejando tras de sí el suelo húmedo (*verde*), pero respetan las plantas que fabrican su propio insecticida (*rojo*). Los parches blancos son trigales secos de un experimento distinto.

Perlak, de Monsanto, refinaron el sistema. Manipularon el gen bacteriano original para que se pareciese lo más posible a las secuencias de ADN de las plantas. Los cambios provocaron un espectacular incremento de la tolerancia a los insectos. Dos años de pruebas de campo han confirmado que la presencia de esos genes *Bt* en plantas de algodón permite controlar las principales plagas de orugas, incluida la del gusano de la cápsula del algodón. Estas plantas obtenidas mediante ingeniería genética podrían reducir el uso de insecticidas en el algodón hasta en un 40 o 60 %.

Se han rastreado minuciosamente las poblaciones naturales de *B. thuringiensis* en busca de estirpes que puedan resistir ataques de insectos distintos de los desencadenados por las orugas. Una de esas estirpes ha permitido "diseñar" un gen que es eficaz contra el escarabajo de la patata. Durante el verano de 1991 se realizaron ensayos en varios sitios, desde Maine hasta Oregon, con plantaciones de patatas que expresaban un gen que afectaba a los escarabajos. Se pudo comprobar que las plantas de patata eran inmunes a los daños producidos por el escarabajo.

Los genes *Bt* pueden ser una fuente de recursos contra las plagas que afectan a las plantas. Expertos de la Mycogen Corporation, en San Diego, acaban de descubrir genes *Bt* que se muestran activos contra nemátodos parásitos de plantas, y también se han identificado genes *Bt* capaces de controlar a los mosquitos. Algunos investigan cómo producir las proteínas antimosquitos en algas, con la mirada puesta en el control de la malaria.

La especificidad de las proteínas *Bt* y su localización en los tejidos de la planta aseguran que la proteína ataque sólo los insectos. A diferencia de los insecticidas al uso, el agua no puede lavar las proteínas de la planta. Ensayos exhaustivos de las proteínas *Bt* y la experiencia acumulada durante más de 30 años de utilización de productos derivados de *Bt* confirman su inocuidad y eficacia. No son pocos los expertos que ven en *Bt* el insecticida más seguro del mundo. Además, la proteína *Bt*, que representa menos del 0,1 % de las proteínas totales de la planta modificada, se degrada de la misma manera que el resto de las proteínas, en el suelo y en el tubo digestivo.



4. GENES QUIMERICOS, construidos a partir de genes de organismos distintos. El de la figura es un gen quimérico que determina resistencia a la kanamicina, y su origen es plural. La región promotora procede de un virus vegetal, la región determinante de la bacteria *E. coli*, y la región poli-A del ADN transferible (ADN-T) de *Agrobacterium* (*1*). Una vez integrado en la planta (*2*), el gen quimérico se transcribe en ARNm (*3*). Los ribosomas traducen el ARNm en proteínas (*4*).

Además de la amenaza que representan virus e insectos, los cultivos tienen que competir con las malas hierbas en lo referente a humedad, nutrientes y luz solar, lucha que puede reducir el rendimiento potencial de una plantación hasta en un 70 %. Las malas hierbas degradan significativamente el valor de la cosecha y sirven de refugio para las plagas.

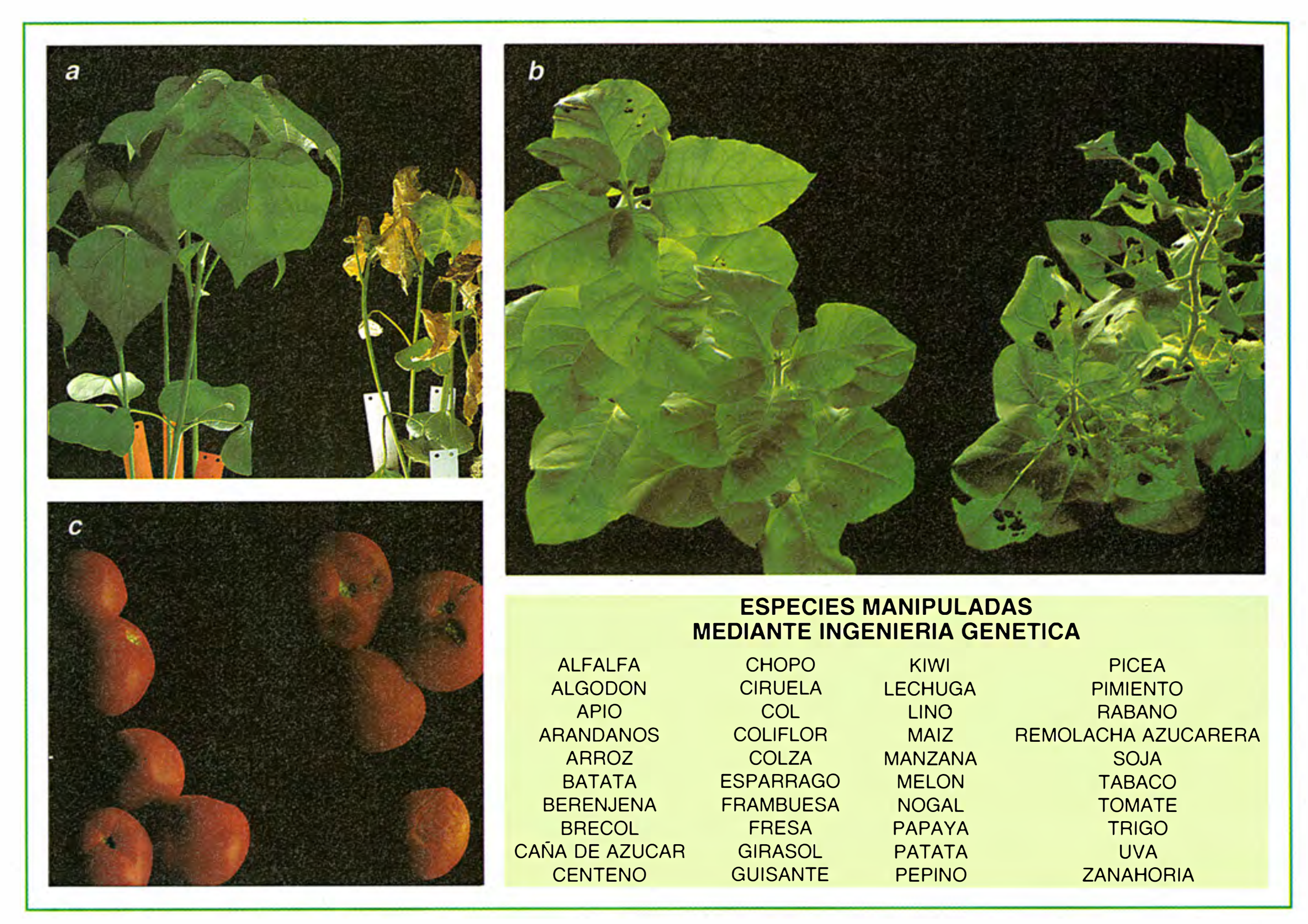
En la mayoría de los casos, la adecuada combinación de herbicidas y atención a los cultivos frena la propagación de las malas hierbas. Pero debido a que cada herbicida posee un espectro de actividad limitado, y afecta sólo a una pequeña parte de las malas hierbas, se suelen utilizar varios tipos de productos químicos durante la época de crecimiento de los cultivos.

La ingeniería genética ofrece una alternativa parcial al control de las malas hierbas: crear plantas capacitadas para tolerar la exposición a un único herbicida de amplio espectro, e inocuo desde el punto de vista ambiental. En contraste con las opiniones expresadas por algunos críticos de la ingeniería genética, el uso de plantas tolerantes a herbicidas permitirá reducir la masa total de herbicidas en uso.

Existen dos planteamientos generales a propósito de la tolerancia a los herbicidas. Los expertos de Monsanto y Calgene han conseguido plantas tolerantes al glifosato, el ingrediente activo del Roundup, herbicida de amplio espectro que se utiliza contra las malas hierbas de hoja ancha y tipo césped. El compuesto mata a las hierbas inhibiendo la acción de la sintetasa del EPSP, enzima necesaria para la producción de los aminoácidos aromáticos requeridos para el crecimiento.

La razón de centrarse en el Roundup estriba en que se trata de uno de los herbicidas más atractivos desde el punto de vista ambiental. No afecta a los animales, que no sintetizan aminoácidos aromáticos. Además, se degrada rápidamente en el medio, produciendo compuestos naturales inocuos.

En 1983 se dio el primer paso hacia el desarrollo de la tolerancia al Roundup, cuando grupos dirigidos por Luca Comai y David M. Stalker, de Calgene, y Rogers y Ganesh Kishore, de Monsanto, aislaron los genes de la sintetasa de EPSP de bacterias y plantas. Tambien identificaron variantes de los genes que producen proteínas más resistentes al Roundup. Prepararon luego genes que producían cantidades mayores de esas proteínas en las plantas. A continuación,



5. CULTIVOS TRANSFORMADOS GENETICAMENTE, presentados en las tres fotografías a la izquierda de su contrapartida normal. Se pueden ver plantas de algodón que toleran herbicidas (*a*), plantas de tabaco resistentes a insectos (*b*) y plantas de tomate con frutos que resisten el reblandecimiento (*c*). Se añade una lista de plantas sometidas a bioingeniería.

se introdujeron los genes en el tomate, soja, algodón, colza y otras plantas de cultivo.

Como quedó demostrado tras los ensayos de campo realizados durante los tres últimos años en Estados Unidos, Canadá y Europa, las plantas resistían tratamientos de Roundup que eliminan totalmente las malas hierbas. Investigadores de Du Pont han aplicado una técnica similar para obtener plantas que toleran ciertos herbicidas portadores de sulfonilurea.

Plant Genetic Systems y Hoechst siguieron una estrategia distinta para abordar el problema de la tolerancia a herbicidas. A partir del microbio *Streptomyces hygroscopicus* aislaron el gen de una enzima que inactiva a Basta, herbicida que ataca la vía de la sintetasa de la glutamina en las malas hierbas e impide, pues, el crecimiento de éstas. Las plantas sembradas que llevan incorporado el gen pueden inactivar al Basta antes de que cause daño alguno. Los ensayos de campo realizados con plantas tolerantes al Basta demuestran la eficacia de la protección.

La tolerancia a los herbicidas ofrece un camino alternativo más barato y eficaz que los tratamientos convencionales contra las malas hierbas. La selección cuidadosa de los herbicidas de amplio espectro debe llevar a una disminución global del uso de los compuestos químicos utilizados para controlar las malas hierbas, y permitir la sustitución de los herbicidas actuales por otros productos más atractivos desde un punto de vista ambiental.

Los progresos ulteriores que simplifiquen y amplíen las técnicas de ingeniería genética, junto con un mayor conocimiento de la biología de las plantas, habrán de redoblar los efectos beneficiosos de la transferencia de genes. En este orden, se han identificado y aislado ya varios genes que intervienen en la biosíntesis del etileno, la señal molecular que pone en marcha la maduración de los frutos. Si se consiguiera frenar el deterioro del fruto, la recolección podría demorarse en beneficio del sabor y valor nutritivo del mismo.

Para conseguir dilatar el tiempo de almacenamiento de los frutos, se está investigando en dos procedimientos genéticos. El primero consiste en insertar versiones antisentido de los genes de la maduración. Las moléculas antisentido se unen con ARN mensajeros específicos y bloquean así la expresión de los genes. Athanasios Theologis, de la USDA en Albany, y Don Grierson, de la Universidad de Nottingham, han demostrado que los tomates con genes antisentido resisten el reblandecimiento. Con una aproximación distinta, Kishore y Harry Klee, de Monsanto, han introducido en plantas de tomate un gen que produce una enzima que degrada al compuesto precursor del etileno, retardándose así el deterioro del fruto.

Los ingenieros genéticos pueden producir también alimentos más sanos: se han aislado genes que determinan proteínas con propiedades nutricionales superiores. Deberán insertarse esos genes en plantas cultivables. Se podrían también utilizar las plantas para sintetizar productos químicos especiales, como almidones, aceites industriales, enzimas, e incluso pro-

dos es algo muy difícil en muchas especies, sobre todo en los cereales. Lo mismo el maíz que el trigo responden muy mal, y lo normal es que produzcan plantas estériles.

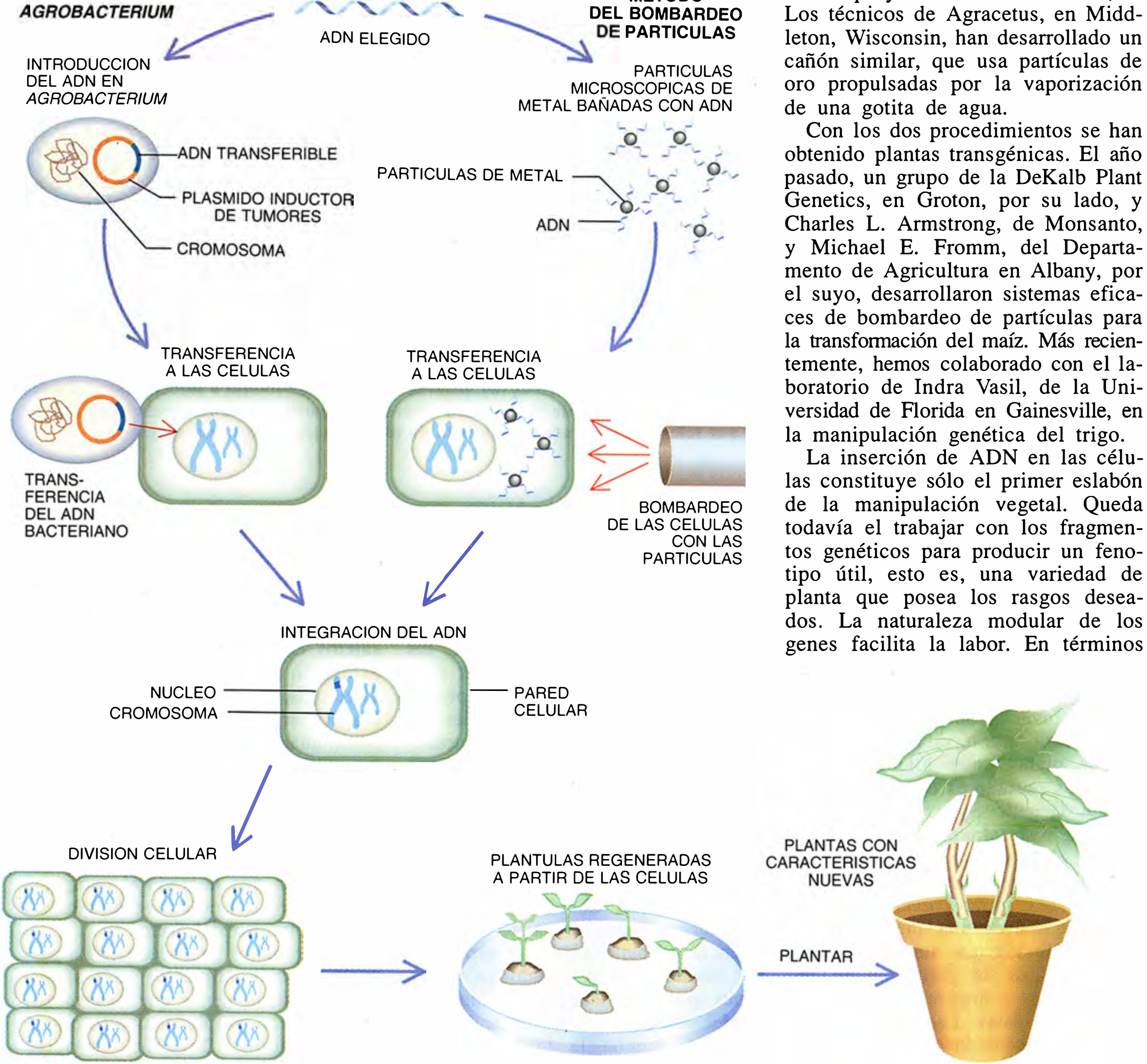
De ahí que se busquen nuevos métodos que logren la inserción de ADN en células intactas, sin que hayan perdido sus paredes. El camino inmediato sería inyectar ADN. Pero la microinyección no resulta viable; por varias razones: las puntas de las agujas, finísimas, se rompen a la primera y se obstruyen con frecuencia; la transformación de las células, una a una, lenta y onerosa, resulta inadecuada para una operación comercial; además, una vez que el ADN entra en la célula, no está plenamente garantizada su incorporación en el genoma. El laborante puede tener que inyectar ADN en al menos 10.000 células para estar seguro de que una de ellas ha incorporado el nuevo gen.

Dándole vueltas al problema de cómo elevar el rendimiento de la inserción de genes, John C. Sanford, de la Universidad de Cornell, ideó un procedimiento para bombardear células vegetales con material genético. Bañó con ADN partículas metálicas, de un par de micrometros de diámetro. Suficientemente aceleradas, las partículas atraviesan las paredes de las células intactas e introducen así el ADN. Por su propia exigüidad, los agujeros abiertos en paredes y membranas celulares se cierran rápidamente ellos mismos; las perforaciones son, pues, transitorias y no comprometen irreversiblemente la integridad celular. Aunque las partículas permanecen en el citoplasma, son tan pequeñas que no entorpecen ninguna función celular.

En 1987, Sanford y su colaborador, Theodore M. Klein, construyeron un aparato que empleaba partículas de tungsteno para bombardear las células. El cañón de partículas de ADN, que así se llama, utilizaba proyectiles del calibre 0,22. Los técnicos de Agracetus, en Middleton, Wisconsin, han desarrollado un cañón similar, que usa partículas de oro propulsadas por la vaporización de una gotita de agua.

Con los dos procedimientos se han obtenido plantas transgénicas. El año pasado, un grupo de la DeKalb Plant Genetics, en Groton, por su lado, y Charles L. Armstrong, de Monsanto, y Michael E. Fromm, del Departamento de Agricultura en Albany, por el suyo, desarrollaron sistemas eficaces de bombardeo de partículas para la transformación del maíz. Más recientemente, hemos colaborado con el laboratorio de Indra Vasil, de la Universidad de Florida en Gainesville, en la manipulación genética del trigo.

La inserción de ADN en las células constituye sólo el primer eslabón de la manipulación vegetal. Queda todavía el trabajar con los fragmentos genéticos para producir un fenotipo útil, esto es, una variedad de planta que posea los rasgos deseados. La naturaleza modular de los genes facilita la labor. En términos

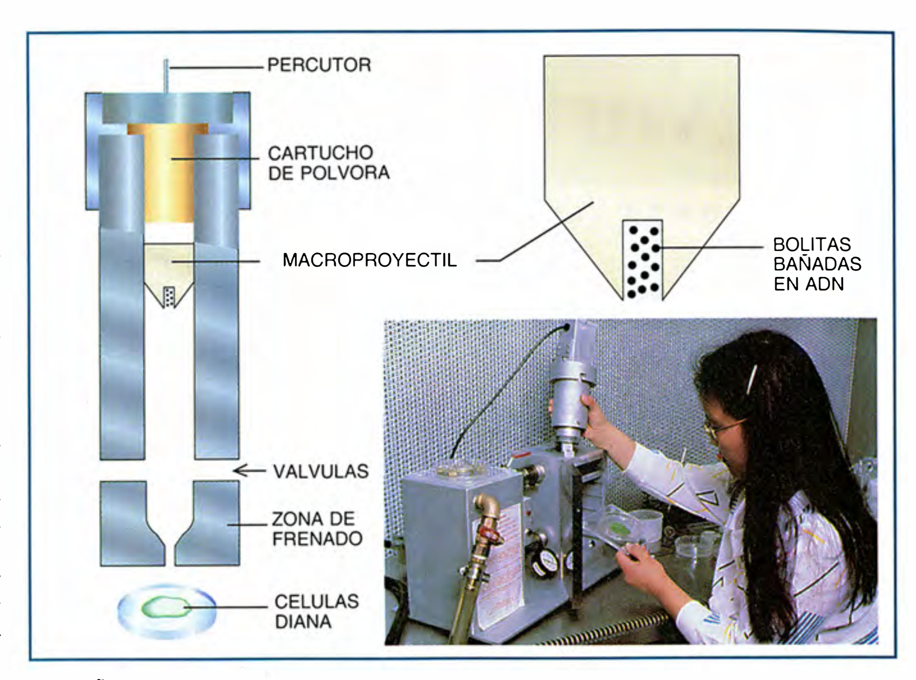


2. PLANTAS TRANSGENICAS y procedimientos para obtenerlas. En la técnica mediada por *Agrobacterium*, el ADN portador del carácter deseado se inserta en el plásmido inductor de tumores que trae la bacteria. Esta infecta a las células de la planta y transfiere el ADN. En el método del cañón, se disparan partículas metálicas bañadas en ADN sobre las células vegetales. En los dos casos, las células incorporan el ADN en sus cromosomas, se dividen y regeneran una planta completa.

generales, los genes que determinan, o producen, proteínas contienen sólo tres regiones.

La primera es una secuencia promotora, que ayuda a especificar el momento y lugar de la expresión génica. La segunda, región codificadora, contiene la información que determina la naturaleza de la proteína cifrada por el gen. Finalmente, está la denominada región poliadenilada (o poli-A), que asegura la correcta terminación de la transcripción del ARN mensajero.

La ingeniería genética permite jugar con esas regiones y mezclarlas a voluntad. Cuando se reúnen componentes de genes diferentes se habla de genes quiméricos. En principio, la región determinante del gen quimérico puede proceder de cualquier organismo. Esta flexibilidad sin precedentes constituye la principal ventaja de la ingeniería genética sobre los métodos tradicionales, que sólo alcanzan a transferir genes entre especies estrechamente emparentadas. Además, si se escogen los promotores adecuados, es posible expresar genes en órganos específicos, como hojas, raíces, semillas y tubérculos y, en muchos casos, incluso en tipos celulares específicos dentro de estos tejidos complejos.



3. CAÑON DE PARTICULAS CON ADN, desarrollado por John C. Sanford, de la Universidad de Cornell. Dispara bolitas de tungsteno bañadas con ADN sobre las células vegetales. Las bolitas viajan en un macroproyectil de plástico, que es acelerado por una carga de pólvora. Un dispositivo frena al macroproyectil, y el impacto provoca el envío de las bolitas sobre las células. Las válvulas permiten la salida del aire. En la fotografía, una técnica de laboratorio prepara el aparato, sosteniendo el "cañón" con su mano derecha, y con la izquierda las células que va a transformar.

Uno de los aspectos más prometedores de la transferencia génica se cifra en la resistencia a enfermedades. Espectaculares en este sentido son los resultados obtenidos con las plantas resistentes a virus, un logro importante, ya que no hay forma de tratar directamente los cultivos infectados con virus. La mayoría de las infecciones merman el rendimiento de las cosechas, y no es raro que produzcan verdaderas catástrofes. Las buenas prácticas agrarias, como la rotación de los cultivos y la eliminación de las malas hierbas y los restos de las cosechas, pueden frenar a los virus, aunque sólo parcialmente. A veces se utilizan insecticidas para controlar a los insectos responsables de la transmisión vírica.

El trabajo genético de la resistencia a los virus parte de la investigación básica en biología vegetal. Sabíase que la infección de una planta por un virus suave la protegía de la posterior infección por otro más virulento. Aparentemente, la replicación de la estirpe vírica suave se interpone en la acción infecciosa de la estirpe virulenta. Los investigadores han sacado partido de esta "protección cruzada" para proteger del contagio a los tomates de invernadero, infectándolos intencionadamente.

El equipo de Roger N. Beachy, adscrito a la Universidad de Washington, pensó que el responsable de la protección podría ser un solo componente vírico. En colaboración con Stephen Rogers, de Monsanto, y uno de nosotros (Fraley), construyeron un vector para introducir y expresar en plantas de tabaco y tomate la proteína de la cubierta del virus del mosaico del tabaco (VMT). Las plantas así modificadas recibieron, por inoculación, una fuerte concentración del virus. Se comprobó que las plantas eran muy resistentes a la infección, confirmándose así la hipótesis de Beachy sobre la protección vírica.

Experimentos posteriores han demostrado que la expresión de la proteína de la cubierta del VMT confiere resitencia sólo al VMT y a otros virus muy parecidos. Con todo, el mecanismo parece ser de general aplicación. La expresión del gen de la cápside proteica de casi cualquier virus vegetal, en cuantía suficiente, protege contra la infección del virus. Se ha conseguido ya, con estos métodos, una razonable tolerancia a más de una docena de virus vegetales diferentes, en un amplio rango de especies cultivables.

La resistencia a la depredación por insectos constituye otro hito notable de la ingeniería genética, especialmente en algodón, patata y maíz. A lo largo de los últimos treinta años, jardineros y agricultores han confiado en la bacteria *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), que produce una proteína insecticida. Las preparaciones habituales de *Bt* poseen una alta especificidad contra las larvas de lepidópteros —polillas y mariposas—, que son los principales insectos nocivos. Las proteínas *Bt* se unen a receptores específicos, localizados en las membranas intestinales de los insectos. Esa unión tapona el transporte de iones a través de las células epiteliales de los intestinos, imposibilitando la alimentación del insecto. Tales insecticidas naturales no son tóxicos para los mamíferos ni para especies distintas de insectos.

La eficacia de los insecticidas basados en la proteína *Bt* queda limitada a veces por la lluvia, que los elimina de las plantas; además, dura poco su acción en el campo. A mediados de los ochenta, los bioingenieros de distintas empresas (Plant Genetic Systems, Agrigenetics, Agracetum y Monsanto) aislaron los genes bacterianos responsables de las proteínas insecticidas. Utilizaron el bombardeo de partículas y *A. tumefaciens* para integrar los genes en plantas de tomate, patata y algodón. Al principio, los genes se expresaban muy poco; las proteínas *Bt* producidas por las plantas sólo mataban a los insectos más sensibles de laboratorio.

David A. Fischhoff y Frederick J.

ductos farmacéuticos. Se están dando ya los primeros pasos.

Existen, en los Estados Unidos y Europa, más de 400 experimentos de campo. Los ensayos confirman la seguridad y validez comercial de las estrategias reseñadas. Antes de cinco años el agricultor podría contar con esas nuevas opciones. Pero no olvidemos las dificultades y limitaciones. Los ingenieros genéticos sólo pueden modificar características expresadas por no más de tres a cinco genes. Además, algunos cultivos no responden a los métodos actuales de transferencia de genes, y no siempre se puede aislar genes de interés.

A pesar de lo que queda por hacer en biotecnología vegetal, los retrasos en la comercialización pueden deberse a problemas de índole no técnica. Los cultivos modificados genéticamente se están desarrollando en una época en la que el apoyo público a la investigación agraria es, en general, tibio. La preocupación por la seguridad en los alimentos, el impacto ambiental de la agricultura y una infraestructura agrícola sometida a continuos cambios, junto con un desconocimiento de las nuevas tecnologías, han eclipsado el problema de que, a largo plazo, vamos a necesitar productos alimenticios económicos y de gran calidad. La producción anual de alimentos deberá triplicarse en los próximos 40 años para satisfacer las necesidades de los nueve mil millones de personas que se espera habiten la Tierra para entonces. La biotecnología es una de las pocas soluciones novedosas al problema.

Pero también es, y ello constituye una obvia ventaja, tradicional en su objeto: la semilla. Hasta las naciones más pobres pueden tener así acceso a los beneficios, sin necesidad de gastos adicionales en alta tecnología o material muy costoso. Aunque no es la panacea, la biotecnología promete convertirse en parte decisiva de la agricultura mundial.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

FIELD TESTING GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS: FRAMEWORK FOR DECISIONS. National Academy Press, 1989.

GENETICALLY ENGINEERING PLANTS FOR CROP IMPROVEMENT. Charles S. Gasser y Robert T. Fraley en *Science*, vol. 244, pág. 1293-1299; 16 de junio de 1989.

PLANT BIOTECHNOLOGY. Dirigido por Shain-Dow Kung y Charles J. Arntzen. Butterworth Publishers, 1989.

PLANT GENETIC ENGINEERING. Dirigido por Don Grierson. Chapman and Hall, 1991.

Control del movimiento individual de los electrones

¿Consiste la corriente eléctrica en el movimiento individual de los electrones o en la circulación continua de un fluido de cargas? Los experimentos recientes respaldan ambas respuestas

Konstantin K. Likharev y Tord Claeson

¿Cuál es la mínima carga eléctrica que puede asentarse en la cabeza de un alfiler? La respuesta a esta pregunta podría resultar sorprendente. Como cualquier otro objeto material, el alfiler está constituido por electrones, protones y neutrones. Cada protón es portador de una unidad de carga fundamental (designada +e), y cada uno de los electrones transporta una carga eléctrica negativa idéntica a la anterior (–e); los neutrones no poseen carga. Por consiguiente, parece que, para conocer la carga total que hay en la cabeza del alfiler, bastaría contar el número de protones, restar el número de electrones y hacer caso omiso de los neutrones. En virtud de esa inferencia, la mínima cantidad de carga debería ser +e o –e. Sin embargo, los experimentos más recientes demuestran otra cosa: revelan claramente que la carga existente en una cabeza de alfiler puede ser igual a una fracción de la carga del electrón, por ejemplo, +0,5e o –0,1e.

Si bien el recuento de cargas en un alfiler no tiene ninguna finalidad práctica, la medición de la carga existente en pequeñas estructuras ha permitido realizar fascinantes ensayos físicos y abierto la posibilidad de varias aplicaciones electrónicas. Estas pruebas se han efectuado con dispositivos de dimensiones extraordinariamente pequeñas, del orden de unos treinta nanómetros, comparables con el tamaño de un virus. Estudiando el comportamiento de tan minúsculos componentes para temperaturas de una fracción de grado sobre el cero absoluto, se ha desentrañado la forma en que se mueven las cargas eléctricas a través de la materia. Sucede, en efecto, que las cargas atraviesan los aislantes delgados en cantidades discretas, como las gotas de agua que caen de un grifo mal cerrado, mientras que su paso a través de materiales conductores ordinarios se verifica de forma continua, igual que el agua que fluye por una tubería.

Estos descubrimientos han conducido a la invención de varios dispositivos capaces de controlar el movimiento individual de los electrones en los sólidos, susceptibles de ser utilizados como transistores u otros elementos de la computación. Aunque se trata de una técnica que se halla todavía en mantillas, creemos que le está guardado desempeñar un destacado papel en el futuro de la electrónica. (A esa técnica la llamaremos aquí monoelectrónica, y también, electrónica individual o unitaria.)

KONSTANTIN K. LIKHAREV y TORD CLAESON han colaborado durante varios años en el desarrollo de la monoelectrónica. Likharev, que enseña física en la Universidad estatal de Nueva York en Stony Brook, procede de la Universidad de Moscú, donde fue estudiante, se doctoró, investigó y dirigió, por tres años, su laboratorio de crioelectrónica. Claeson es desde 1982 profesor de física de la Universidad Técnica Chalmers de Goteburgo. Ha contribuido al establecimiento de un centro sueco en el que se fabrican dispositivos de estado sólido a escala de nanómetros.

El campo de la monoelectrónica ("single electronics") tuvo su origen en las investigaciones de la unión túnel, dispositivo que consiste en dos electrodos —piezas de material conductor— separados por una delgada capa de un material aislante, con un espesor del orden de un nanómetro (milmillonésima parte del metro). Aunque pueden moverse libremente en los conductores, los electrones no penetran fácilmente en los aislantes, pese a lo cual, de acuerdo con las leyes de la mecánica cuántica, existe una pequeña probabilidad de que atraviesen una capa delgada de un material aislante en virtud de un proceso denominado efecto túnel.

Si se aplica una diferencia de potencial entre los dos lados de la unión, los electrones tenderán a cruzar el aislante en un sentido determinado, creando así cierta corriente eléctrica a través de la unión. La magnitud de la corriente dependerá tanto del espesor de la capa aislante como de las propiedades del material que constituye los electrodos conductores.

Mediados los años ochenta, los físicos conocían muchas de las propiedades de las uniones túnel, y ya entonces algunos de ellos sospechaban que estas uniones presentarían un comportamiento muy interesante cuando su espesor se hiciera inferior a unos 100 nanómetros.

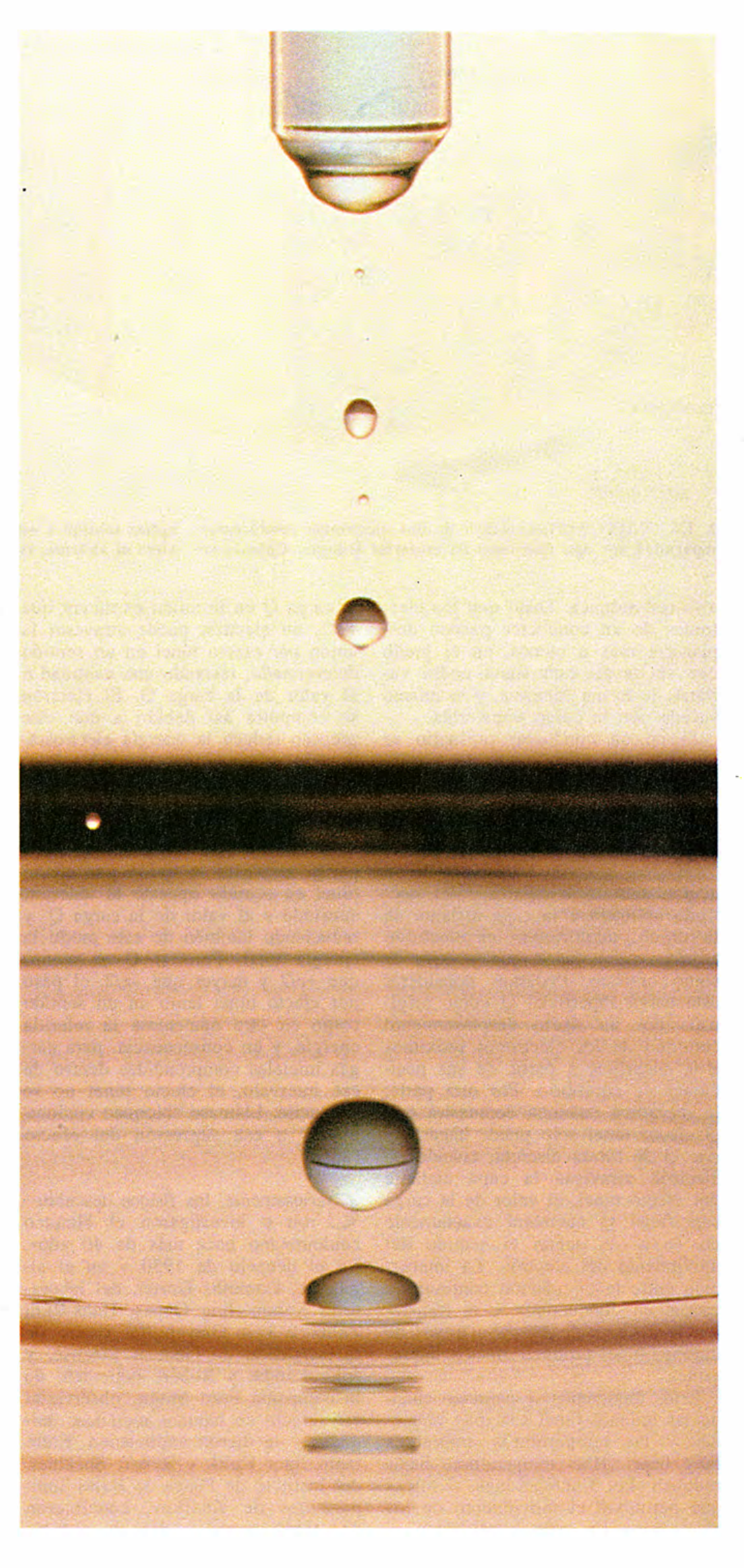
A principios de 1985, Dmitri Averin y uno de los autores de este artículo (Likharev) intentaron predecir el comportamiento de uniones túnel muy delgadas provistas de electrodos superconductores. (La superconductividad es una notable propiedad gracias a la cual ciertos materiales enfriados a temperaturas próximas al cero absoluto no ofrecen resistencia alguna al paso de una corriente eléctrica.) Averin y Likharev abordaron esta cuestión aplicando los principios de la teoría cuántica, pero si bien llegaron a deducir algunas ecuaciones que describían el comportamiento de los dispositivos, éstas presentaban una complejidad difícil de resolver.

En consecuencia, se optó por examinar el caso más sencillo de una pequeña unión túnel con electrodos

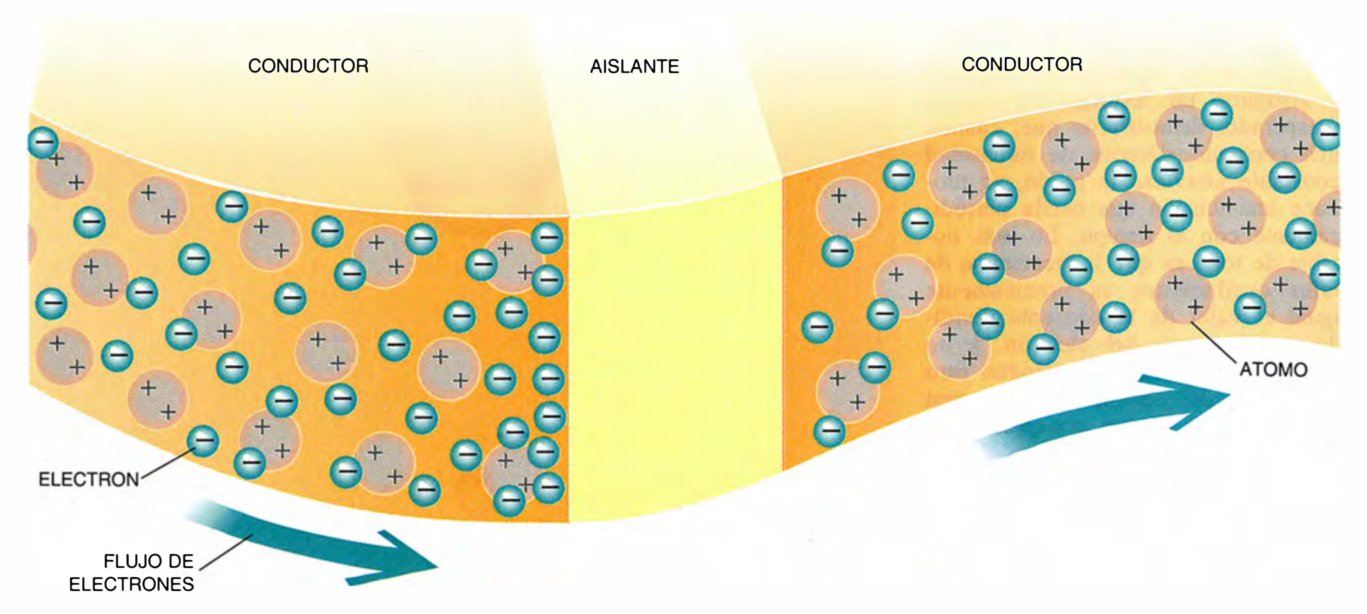
formados por un material conductor ordinario. En este caso, las ecuaciones se podían resolver con facilidad y arrojaron un resultado totalmente inesperado: demostraron que, cuando una corriente eléctrica de intensidad constante atraviesa la unión, se produce una tensión que oscila periódicamente con el tiempo. Lo más notable de todo es que la frecuencia de tales oscilaciones es precisamente igual al valor de la corriente dividido por la carga del electrón, y no depende en absoluto de ningún otro parámetro del sistema. Un examen más detenido de las ecuaciones en cuestión revela que cada una de estas oscilaciones representa la respuesta del dispositivo al atravesar un solo electrón la capa aislante por efecto túnel, fenómeno que ahora se denomina oscilaciones por efecto túnel de electrón individual, o SET (del inglés "single-electron tunnelling").

Para comprender ese efecto, hay que considerar la manera de desplazarse las cargas eléctricas a través de un conductor: un sencillo hilo de aluminio, por ejemplo. La corriente eléctrica que circula por dicho conductor se debe a que algunos de los electrones presentes pueden moverse libremente a través de la red de núcleos atómicos. Pese a tal movimiento de electrones, un volumen cualquiera del conductor no presenta virtualmente carga eléctrica neta, pues la carga negativa de los electrones móviles resulta siempre compensada por la carga positiva de los núcleos atómicos del conductor. Por consiguiente, lo que realmente importa no es la carga eléctrica que existe en un determinado volumen, sino la carga que se ha transportado a lo largo del hilo, magnitud que recibe el nombre de "carga transferida". Para mayor sorpresa, dicha carga puede poseer prácticamente cualquier valor, incluso de una fracción de la carga del electrón individual.

Aunque a primera vista este concepto parezca oponerse a la intuición, admite una explicación muy llana. En realidad, la carga transferida tiene poco que ver con el recuento de electrones o protones individuales, sino que es proporcional a la suma de los desplazamientos de la totalidad de los electrones con respecto



1. FORMACION DE UNA GOTA DE AGUA en el extremo de un tubo de vidrio y su caída final: un proceso análogo al desplazamiento de una carga eléctrica a través de los dispositivos de monoelectrónica.



2. LA UNION TUNEL consta de dos electrodos conductores separados por una fina capa de material aislante. Cuando se aplica tensión a este dispositivo, hay carga eléctrica que atraviesa el aislante, creándose una débil corriente.

a la red atómica. Dado que los electrones de un conductor pueden desplazarse más o menos, en el grado que se desee, esta suma podrá variarse de forma continua, y lo mismo sucede con la carga transferida.

Si en un conductor ordinario se intercala una unión túnel, las cargas eléctricas se desplazarán a través del sistema siguiendo un proceso continuo y otro discreto. A medida que circula de manera continua por el conductor, la carga transferida se va acumulando en la superficie del electrodo aplicado a la capa aislante de la unión, adquiriendo el electrodo adyacente una carga igual aunque de signo opuesto. Podemos considerar esta carga superficial Q como originada por un ligero desplazamiento continuo de los electrones próximos a la superficie a partir de sus posiciones de equilibrio. Por otra parte, la mecánica cuántica demuestra que el efecto túnel sólo puede hacer variar Q de forma discreta: cuando un electrón atraviesa la capa aislante por efecto túnel, el valor de la carga superficial Q cambiará exactamente en +e o –e, según el sentido del movimiento del electrón. La interacción entre la circulación continua de cargas en conductores y la transferencia discreta de cargas a través de uniones túnel produce efectos interesantes.

Estos fenómenos se perciben cuando las uniones túnel son muy pequeñas y las temperaturas ambientes muy bajas. (Las temperaturas bajas reducen las fluctuaciones térmicas que perturban el movimiento de los electrones.) En tales condiciones, si la carga Q en la unión es mayor que +e/2, un electrón puede atravesar la unión por efecto túnel en un sentido determinado, restando una cantidad e al valor de la carga Q. El electrón se comporta así debido a que este proceso reduce la energía electrostática del sistema, que aumenta proporcionalmente al cuadrado de la carga y por tanto no depende del signo de ésta. De forma análoga, si Q es menor que –e/2, un electrón puede atravesar la unión por efecto túnel en sentido opuesto al anterior, sumando e al valor de la carga Q, y reduciendo también de este modo la energía total. Pero si Q es menor que +e/2 y mayor que –e/2, el paso por efecto túnel tanto en un sentido como en otro aumentará la referida energía, y en consecuencia, para cargas iniciales comprendidas dentro de ese intervalo, el efecto túnel no se producirá. Llámase "bloqueo coulombiano" a esa supresión del efecto túnel.

Curiosamente, los físicos descubrieron e investigaron el bloqueo coulombiano hace más de 40 años. En el decenio de 1950 y en el siguiente, Cornellis Gorter, del laboratorio Kammerling Onnes, Hans-Rudi Zeller e Ivar Giaver, del centro de investigación de General Electric, y John Lambe y Robert Jaklevich, de la compañía Ford Motor, observaron este efecto en láminas metálicas delgadas y le dieron explicación. Entre tanto, Igor Kulik y Robert Shekhter, del Instituto de Física de Bajas Temperaturas de Kharkov, concibieron una teoría completa para un sistema particular. Parece ser, sin embargo, que hasta mediados de los años ochenta nadie supo valorar el concepto de la transferencia continua de carga en los metales y se desconocía la sencilla condición que regula el bloqueo coulombiano. Una vez entendidos estos conceptos, resultaba fácil descubrir nuevos fenómenos en las pequeñas uniones túnel.

Como ejemplo, veamos lo que sucede al conectar la unión a una fuente de corriente constante: si la carga superficial Q vale cero inicialmente, el sistema está dentro de los límites del bloqueo coulombiano y no se produce efecto túnel; por consiguiente, la corriente que fluye del generador a través de los conductores empezará a hacer variar Q de forma continua. Suponiendo, por conveniencia, que la tasa de carga depositada es positiva en lugar de negativa, cuando la carga alcance y supere ligeramente el valor de +e/2, entrará en juego el efecto túnel. Un electrón cruzará entonces la unión, con lo que la carga será ligeramente mayor que –e/2, y el sistema volverá a estar dentro del intervalo de bloqueo coulombiano, en el que el efecto túnel no es posible.

Entre tanto, la corriente sigue aportando carga positiva a la unión a una velocidad constante, hasta que de nuevo la carga Q rebase el valor +e/2 y otro electrón atraviese la unión. La repetición de todo este proceso produce las oscilaciones por efecto túnel de un solo electrón (SET) a las que nos hemos referido anteriormente: la tensión cambia periódicamente con una frecuencia

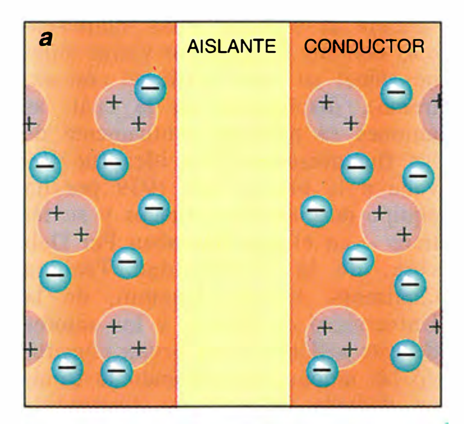
igual al valor de la intensidad de la corriente dividido por la unidad fundamental de carga, e.

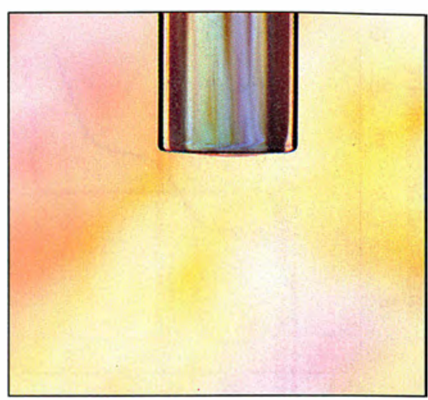
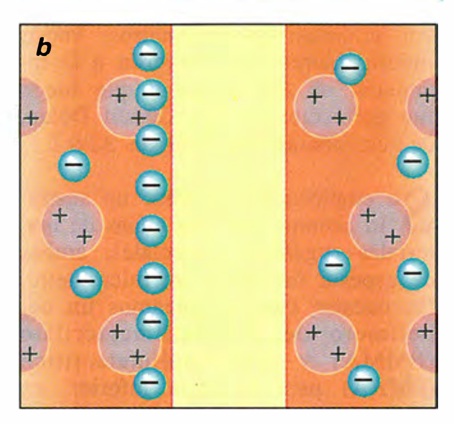
El flujo de cargas a través de la unión túnel puede muy bien compararse al del agua que gotea por un grifo mal cerrado. Inicialmente la carga se va acumulando en la unión igual que el agua forma una gota en la boca del grifo; cuando ya se ha acumulado una cantidad de carga suficiente, parte de esa carga traspasa la unión, exactamente como una gota de agua se desprende del grifo al haber alcanzado cierto volumen. Sin embargo, mientras las gotas de agua pueden variar un tanto en su tamaño, la cantidad de carga en el efecto túnel está perfectamente cuantizada y su valor es siempre igual a e.

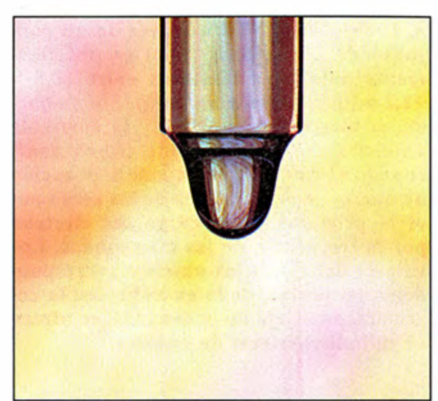
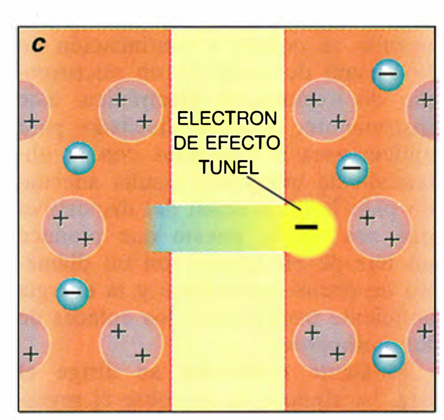
Introduciendo un par de hipótesis plausibles, la deducción de la fórmula que expresa la frecuencia de las oscilaciones SET puede realizarse en el marco de la física clásica, dado que ésta describe el comportamiento de los electrones como partículas. No obstante, existe una profunda relación entre las oscilaciones SET y cierto tipo de oscilaciones predichas por la teoría cuántica: en numerosas situaciones, el electrón se comporta más como una onda que como una partícula; esta onda asociada tiene una frecuencia característica cuyo valor viene dado por el resultado de dividir la energía del electrón por la constante de Planck.

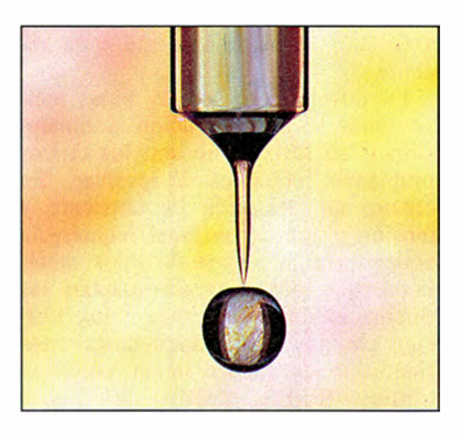
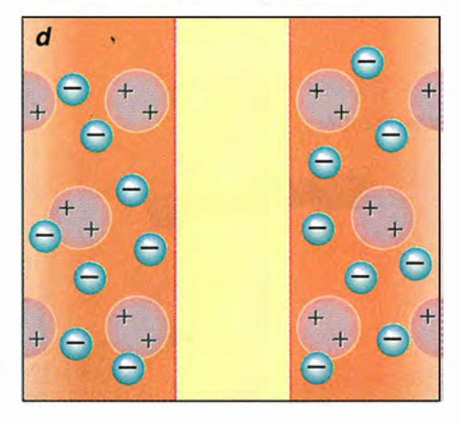
En 1962, Brian Josephson (en aquel tiempo alumno de la Universidad de Cambridge) demostró que, en las uniones túnel de gran tamaño provistas de electrodos superconductores, puede observarse experimentalmente que existe esa relación fundamental entre la tensión aplicada y la frecuencia de las oscilaciones en el flujo de corriente eléctrica que atraviesa la unión en cuestión. A mediados de los ochenta, James Lukens y sus colaboradores, de la Universidad estatal de Nueva York en Stony Brook, utilizaron estas "uniones de Josephson" para demostrar que la relación de Planck-Bohr-Josephson tiene una precisión de al menos 16 cifras decimales. Creemos que la ecuación clásica de las oscilaciones por efecto túnel de un solo electrón (SET) resultará ser igualmente exacta.

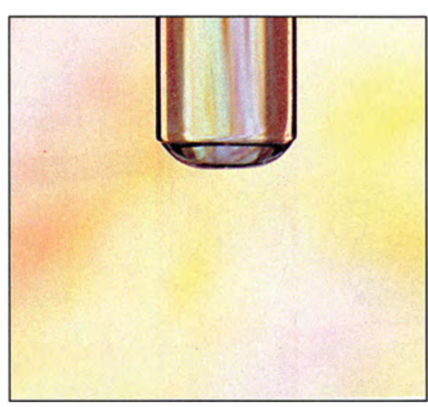
Para producir las oscilaciones SET, los físicos han de fabricar uniones túnel de superficie muy pequeña, y enfriarlas lo suficiente para asegurar que la energía térmica no influya sobre el efecto túnel. Así, por ejemplo, el dispositivo en cuestión deberá ser enfriado hasta una temperatura del



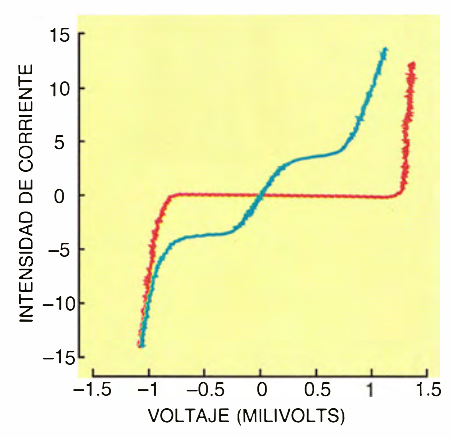





3. CUANDO UN ELECTRON SUELTO atraviesa por efecto túnel una pequeña unión se comporta como una gotita de agua que se desprende de un tubo de vidrio. Inicialmente, el interfaz entre electrodo y aislante no posee carga (*a*); al fluir electrones hacia el electrodo, se va acumulando carga en la superficie del conductor (*b*); cuando ya se ha reunido allí suficiente carga, atraviesa un electrón el aislante y con ello disminuye la carga superficial (*c*). Este proceso se repetirá (*d*) si la carga se repone de nuevo.



4. LA CORRIENTE a través de un conjunto de 25 uniones túnel es prácticamente nula para tensiones entre −0,8 y +1,2 milivolts (*línea naranja*). Sin embargo, el bloqueo se suprime y la corriente aumenta escalonadamente (*línea azul*) cuando el conjunto se expone a la acción de microondas. La altura de los escalones es el producto de la carga del electrón por la frecuencia de las microondas. Los valores del eje de las abscisas corresponden a la tensión, dada en milivolts; la corriente, en el eje de ordenadas, se ofrece en milmillonésimas de ampère.

orden de una décima de grado sobre el cero absoluto si la unión tiene 100 nanómetros de longitud y de anchura.

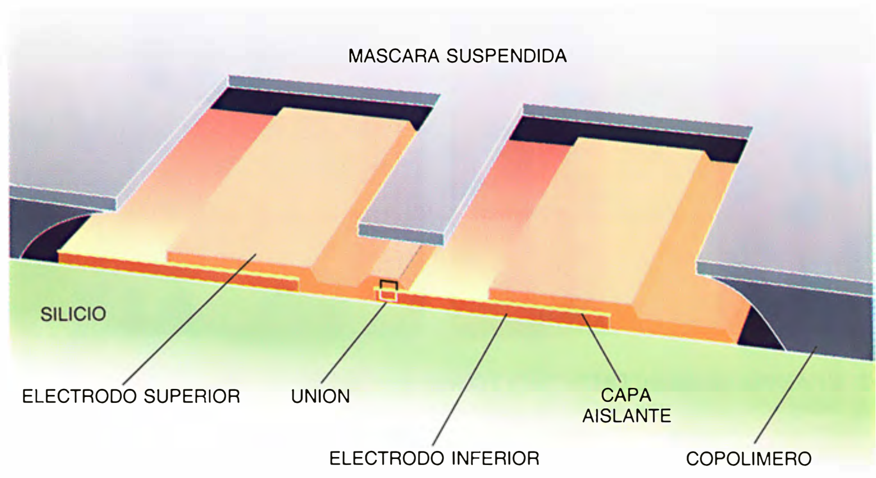
La refrigeración a muy bajas temperaturas y la fabricación a dimensiones tan ínfimas no son los únicos problemas prácticos a resolver. En efecto, la aplicación de corriente y tensión a una unión túnel requiere la conexión a la misma de hilos metálicos, que por desgracia captan las fluctuaciones cuánticas de los ubicuos campos electromagnéticos; estas fluctuaciones pueden llegar a ocultar totalmente los efectos debidos a electrones individuales. Una manera sencilla de eliminar estas interferencias consiste en conectar varias uniones túnel en serie (extremo con extremo), disposición en la cual las uniones se protegen mutuamente de las fluctuaciones. Esta idea fue llevada a la práctica en 1989 por un equipo de científicos suecos y soviéticos —en el que figuraban Per Delsing, de la Universidad Técnica Chalmers, Leonid Kuzmin, de la Universidad de Moscú, y los autores de este artículo—. El grupo construyó las uniones modificando la técnica llamada de máscara suspendida que se utiliza para fabricar dispositivos a escala de nanómetros. Varios investigadores contribuyeron a la invención de esta técnica, que luego fue perfeccionada por Gerald Dolan, de los laboratorios Bell de AT&T.

Se empieza por recubrir un sustrato aislante con dos capas de materiales orgánicos especiales, ambas de espesor inferior a un micrometro. En nuestro caso, empleamos un copolímero de polimetilmetacrilato (PMMA) y ácido polimetacrílico (PMAA) para la capa inferior, en tanto que para la capa superior se utilizó PMMA puro. El sustrato revestido se coloca a continuación en la cámara de vacío de un microscopio de exploración electrónica; este instrumento, aunque diseñado para aplicaciones relacionadas con la obtención de imágenes, resulta adecuado para la fabricación del dispositivo que nos ocupa, puesto que produce un haz de electrones con un diámetro de pocos nanómetros y la energía suficiente para romper los enlaces de los polímeros.

Mediante ordenador se dirige el haz, haciéndole trazar sobre el revestimiento del polímero la figura deseada, que en nuestros experimentos consistía en una cadena de ventanas rectangulares de 200 por 80 nanómetros, muy próximas entre sí. Seguidamente, la muestra se revela en tolueno, el cual elimina el PMMA (capa superior) de las regiones expuestas y el copolímero que tiene debajo (capa inferior) de una superficie algo más extensa. Se obtiene así una lámina de PMMA con una serie de ventanas abiertas suspendidas sobre el sustrato.

En la siguiente fase del proceso, la muestra se coloca en otra cámara de vacío y se expone a un haz de átomos de aluminio; por acción del haz se deposita una fina película de aluminio sobre la lámina de PMMA y sobre las partes del sustrato visibles bajo las ventanas abiertas. (Estas "islas" de aluminio se convertirán finalmente en la primera capa conductora del conjunto de uniones túnel.) A continuación, se hace entrar en la cámara una pequeña cantidad de oxígeno seco, con lo cual se forma en la superficie del metal una capa muy delgada de óxido de aluminio que constituirá la capa aislante de la unión. Extraído de la cámara el oxígeno restante, se deposita una segunda capa de aluminio desde otro ángulo, de tal manera que las islas de la primera y segunda capa se solapan entre sí y forman un conjunto de uniones túnel, cada una de las cuales mide alrededor de 80 por 60 nanómetros.

Cuando nuestro grupo empezó a fabricar conjuntos de uniones túnel, también estudiamos cuál sería la mejor forma de medir las oscilaciones SET. Dado que la energía de estas oscilaciones es muy baja, para efectuar mediciones directas habría que utilizar detectores de alta frecuencia extremadamente sensibles. Más sencillo es detectar las oscilaciones tras haber irradiado las muestras con microondas, ya que éstas interaccionan (es decir, "se mezclan") con las oscilaciones SET de una manera que resulta fácilmente observable. Concretamente, a medida que la corriente a través de la unión crece desde cero, la tensión debería aumentar hasta que el valor de la corriente sea igual a e veces la frecuencia de la radiación de microondas. Si la tensión sigue aumentando, la corriente debe mantenerse constante durante un cierto tiempo para luego volver a aumentar. Como resultado de todo el proceso, cabe esperar que la gráfica de la corriente en función de la tensión presente tramos horizontales para valores de la



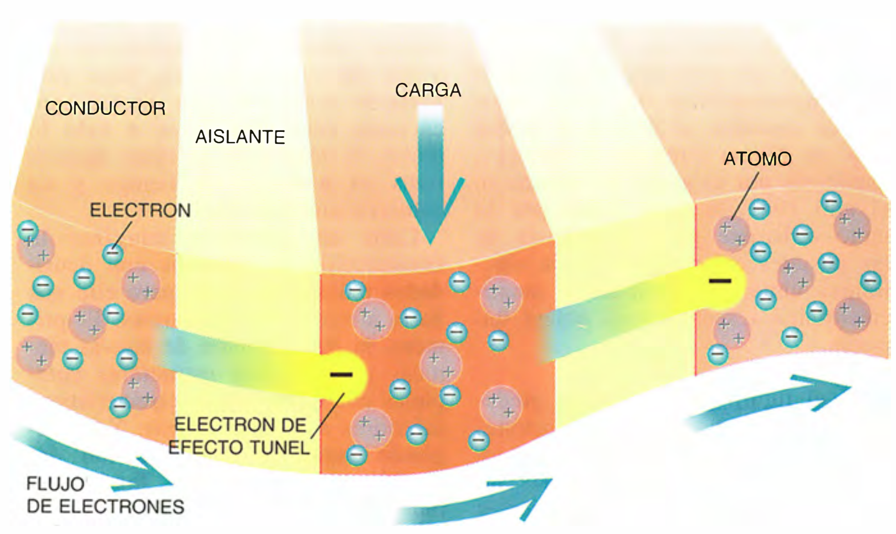
5. UNIONES TUNEL de dimensiones muy pequeñas fabricadas con la técnica de máscara suspendida.

corriente iguales a e, o –e, veces la frecuencia. En julio de 1989 comprobamos la realidad de esos tramos.

Nuestros resultados fueron pronto confirmados por un equipo de investigadores holandeses y franceses que trabajaba en la Universidad Técnica de Delft y en el Centro de Investigaciones Nucleares de Saclay. Estos grupos utilizaron dos tipos de conjuntos de uniones diferentes, en los que el campo de microondas se aplica a los electrodos centrales y no a los bordes del conjunto; mediante tales dispositivos se comprobó el valor de la relación entre la corriente y la frecuencia con precisión próxima al 0,1 por ciento. Por otra parte, en 1990, Bart Geerlings y Hans Mooij, del grupo de Delft, confirmaron una teoría de Averin y Arcadii Odintsov que indica una manera de mejorar la precisión. Creemos que en un próximo futuro podrá medirse la relación corriente/frecuencia con un error de una parte en un millón como máximo, y probablemente todavía mucho menor.

En las uniones túnel con electrodos superconductores deberían producirse también otros fenómenos similares a las oscilaciones de electrones individuales. En 1982, Allen Widom, Terry Clark y sus colaboradores, de la Universidad de Brighton, avanzaron unas ideas generales de explicación de esos fenómenos en las uniones túnel superconductoras. En 1984, Alexander Zorin, de la Universidad de Moscú, y uno de nosotros (Likharev) elaboraron una teoría más hilvanada y realista.

En los superconductores, cada electrón tiene un compañero con el que constituye lo que se denomina un par de Cooper; por consiguiente, cuando se forma una unión túnel con dos electrodos superconductores, los electrones tienden a atravesar por el efecto túnel el aislante, no individualmente sino a pares. La teoría predice que la tensión a través de una unión túnel superconductora de muy pequeñas dimensiones oscilará con una frecuencia igual al valor de la corriente dividido por 2e (en lugar de e).



6. UN TRANSISTOR DE ELECTRONES INDIVIDUALES puede permitir o impedir el paso de una corriente de miles de millones de electrones por segundo cuando la carga del electrodo central cambia tan sólo en cuantía igual a la mitad de la carga de un electrón.

Likharev y Zorin llamaron "oscilaciones de Bloch" a este fenómeno singular, siendo Kuzmin, David Haviland y sus colaboradores de Chalmers quienes en febrero de 1991 encontraron pruebas fiables de la existencia de tales oscilaciones en una unión de pequeñas dimensiones formada entre dos capas delgadas de aleación superconductora.

Las oscilaciones por efecto túnel de un solo electrón (SET) y de Bloch se pueden considerar la ordenación ("correlación"), en el transcurso del tiempo, de una serie de procesos basados en el efecto túnel de electrones individuales o pares de Cooper. Existe también la posibilidad de que tenga lugar otra forma de correlación de estos mismos procesos, muy importante para las aplicaciones futuras, la cual se produce, por ejemplo, en un dispositivo constituido por dos uniones túnel que comparten un electrodo central. Cuando se aplica una tensión constante a este dispositivo, los procesos de túnel que ocurren en una y otra unión deben estar correlacionados entre sí; en concreto, siempre que un electrón atraviese una de las uniones en virtud del efecto túnel, un segundo electrón atraviesa la otra unión casi a la vez del primero.

Tal como Averin y Likharev demostraron en 1985, lo más importante de todo este fenómeno es que el proceso de túnel correlacionado puede controlarse si la carga eléctrica se inyecta (o se extrae) de forma continua en el electrodo que conecta las dos uniones. Cuando la carga inyectada en dicho electrodo se aproxima a cero o a un múltiplo de e, el dispositivo mantiene un bloqueo coulombiano considerable: no pasa corriente alguna por la unión si la tensión aplicada al sistema se mantiene por debajo de un determinado umbral. Ahora bien, si la carga del electrodo central es igual a +0,5e o –0,5e (o también si dicha carga vale +1,5e, +2,5e, etcétera), el bloqueo coulombiano desaparece por completo, es decir, los electrones atraviesan el sistema por efecto túnel y puede inducirse una corriente aunque la tensión aplicada sea muy pequeña. De este modo, es posible controlar el valor de la corriente que atraviesa el dispositivo alterando el valor de la carga del electrodo central, exactamente como sucede con la corriente en un transistor ordinario de semiconductores, si bien en el caso que nos ocupa dicho control puede lograrse mediante señales de carga mucho más débiles. Por analogía se denomina ahora transistor de electrones individuales a este dispositivo de dos uniones túnel.

Para nuestra fortuna, el efecto túnel correlacionado resulta insensible a las fluctuaciones cuánticas del campo electromagnético ambiental y, por tanto, es fácil conectar este dispositivo a fuentes de tensión e instrumentos de medida. Merced a ello, Kuzmin y Likharev realizaron algunos experimentos con un transistor de electrones individuales al cabo de muy poco tiempo de haberlo concebido. El 6 de marzo de 1987 estos mismos investigadores presentaron sus resultados a una revista soviética. (Más tarde se enterarían de una curiosa coincidencia: ese mismo día, Theodore Fulton y Gerard Dolan, de los laboratorios Bell, habían enviado a una revista norteamericana un trabajo en el que se recogían otras observaciones prácticamente idénticas a las suyas.) Estos dos trabajos marcaron el comienzo de la electrónica individual, o unitaria, experimental.

Durante los últimos cinco años, los físicos han diseñado muchos tipos de transistores monoelectrónicos y han desarrollado otros circuitos de

este tipo de electrónica, más complejos que los anteriores. Para explicar de modo enteramente satisfactorio el comportamiento de todos estos nuevos circuitos se recurre a la que hoy se llama "teoría ortodoxa", enunciada por el grupo de Moscú en el año 1985, la cual puede por lo tanto utilizarse para el análisis de las posibles aplicaciones de la electrónica unitaria, individual, o monoelectrónica a secas, como quiera llamarse.

En el futuro próximo, cabe predecir al menos tres aplicaciones importantes. En primer lugar, la tecnología habría de proporcionar un nuevo patrón para medir corrientes de intensidad muy pequeña, con una precisión que se espera llegue a rebasar la cota de una parte en mil millones (1×10^{-9}), lo cual supone mejorar unas 1000 veces la de los sistemas existentes. En segundo lugar, la tecnología promete la fabricación de electrómetros supersensibles, instrumentos capaces de medir cargas de hasta la diezmilésima parte de e, lo que entraña una resolución casi un millón de veces mayor que la de los instrumentos actualmente disponibles en el mercado. (Estos electrómetros, por cierto, han sido ya utilizados en Saclay y en los laboratorios Bell para medir los efectos túnel de electrones individuales en otros dispositivos complejos.)

Con todo, la perspectiva más importante de la monoelectrónica consiste en su aplicación a los circuitos digitales integrados. Las pastillas de ordenador actuales ("chips") pueden alcanzar densidades del orden de 10 millones de dispositivos por centímetro cuadrado, cifra que impresiona, pese a lo cual los diseñadores de ordenadores siguen reclamando nuevas pastillas con densidades siempre en aumento. Sin embargo, los dispositivos electrónicos convencionales están acercándose a su límite; la mayoría de los expertos coinciden en señalar que cualquier reducción de tamaño suplementaria exigirá la aplicación de conceptos radicalmente nuevos, y en tal sentido cabe otorgar una alta valoración a la monoelectrónica.

En los nuevos circuitos realizados con esta tecnología electrónica los bits de información pueden venir expresados por la presencia o la ausencia de electrones individuales, y sería posible llegar a empaquetar hasta 10.000 millones de dispositivos electrónicos en una pastilla de un centímetro cuadrado, reduciendo para ello las dimensiones de las uniones túnel hasta unos 10 nanómetros. Tales circuitos operarían a temperaturas del orden de cuatro kelvins, valor plenamente aceptable para ciertas aplicaciones especiales. Pese a todo lo dicho, el desarrollo de estos dispositivos va a exigir un tiempo y un esfuerzo considerables.

Cabe en principio imaginar la construcción de circuitos con densidades todavía mayores, pero ello nos haría afrontar dos problemas. El primero, la investigación de nuevas técnicas para fabricar estructuras complejas con dimensiones características inferiores a 10 nanómetros. Y en segundo lugar, la determinación del cambio que sufren los fenómenos monoelectrónicos cuando las dimensiones de los correspondientes dispositivos disminuyen hasta la escala atómica.

En un intento de resolver este segundo problema, Averin y Alexander Korotkov, de la Universidad de Moscú, emprendieron en 1989 una revisión de la teoría ortodoxa, llegando a la conclusión de que, en dispositivos suficientemente pequeños, intervienen de manera decisiva las leyes de la mecánica cuántica. En tales casos, las energías de los correspondientes electrones están cuantizadas, es decir, sólo pueden recibir ciertos valores discretos. No obstante, también demostraron que la cuantización de la energía no excluye el efecto túnel correlacionado y que ambos efectos pueden coexistir sin ningún problema.

Para comprobar tal conclusión, varios grupos de trabajo han realizado experimentos en los que los electrones se confinan dentro de estructuras diminutas, fabricadas con materiales semiconductores. Tales estructuras, que suelen denominarse puntos cuánticos y pozos cuánticos, están capacitadas para albergar un "paquete" de varios centenares de electrones libres. Estos dispositivos permiten que los electrones traspasen barreras energéticas bien definidas en virtud del efecto túnel, tanto en un sentido como en otro. En ambos tipos de experimentos, los físicos han observado la presencia simultánea de efectos de monoelectrónica y de cuantización de energía, confirmando así la coexistencia de estos dos fenómenos. Paul McEuen y sus colaboradores, del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) y del Centro de Investigación Thomas J. Watson de IBM, demostraron esta coexistencia en los puntos cuánticos. Similares resultados obtuvieron Bo Su y sus colaboradores en Stony Brook y los laboratorios Bell utilizando pozos cuánticos.

Todavía quedan problemas importantes pendientes de solución. Por citar sólo uno, se ignora de qué modo la energía de cuantización influye sobre los efectos de movimiento de cargas de electrones individuales en los circuitos constituidos por muchos puntos cuánticos o pozos cuánticos. Un análisis preliminar sugiere que en estas estructuras un electrón puede comportarse simultáneamente como onda y como partícula: tal predicción, en caso de confirmarse, tendrá gran importancia para la física fundamental.

Otro aspecto aún no resuelto es la exigencia o no del efecto túnel para la transferencia correlacionada de electrones, y recientemente Averin y Likharev han expuesto argumentos que niegan tal exigencia. En su opinión, los flujos correlacionados pueden ocurrir en canales muy estrechos, que sólo permiten la propagación de los electrones en un sentido. Los experimentos venideros demostrarán si es factible fabricar tales canales.

Dejando aparte los progresos que puedan conseguirse en estos nuevos campos, la monoelectrónica nos ha permitido ya comprender mejor el comportamiento de los electrones en la materia. Creemos, además, que esta disciplina ha contribuido mucho a lo que podríamos denominar psicología de la física. Por otra parte, el efecto túnel correlacionado nos proporciona un ejemplo de un fenómeno sencillo en su concepción y fundamental que no había sido descubierto hasta mediados de los años ochenta, demostrando así que el "océano de verdades sin descubrir" al que se refirió Newton sigue todavía lleno, esperando a científicos cuyas armas esenciales sean la imaginación y la creatividad. Esto no deberían olvidarlo los partidarios de teorías refinadísimas y los defensores de experimentos que cuestan al erario público billones de pesetas.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

CORRELATED DISCRETE TRANSFER OF SINGLE ELECTRONS IN ULTRASMALL TUNNEL JUNCTIONS. K. K. Likharev en IBM *Journal of Research and Development*, vol. 32, págs. 144-158; enero de 1988.

SINGLE ELECTRONICS. K. K. Likharev en *Granular Nanoelectronics*. NATO ASI Series B, Physics vol. 251. Dirigido por David K. Ferry *et al.* Plenum Press, 1991.

SINGLE CHARGE TUNNELING. Dirigido por Hermann Grabert y Michel H. Devoret. Plenum Press (en prensa).

El control de la rabia en los animales salvajes

Se está sometiendo a prueba, a ambos lados del Atlántico, un método revolucionario, resultado de la labor investigadora comenzada modestamente en un laboratorio norteamericano hace treinta años

William G. Winkler y Konrad Bögel

El 13 de abril de 1990, en una taberna de la localidad texana de Mercedes, un murciélago mordió el dedo índice de la mano derecha de un cliente de 22 años. No acudió al médico y se encontró bien hasta el 30 de mayo, cuando comenzó a notar cierta debilidad en la mano afectada. Murió de rabia seis días después, atormentado por muchos de sus síntomas. Antes de caer en coma, sufrió episodios de rigidez y de respiración anhelante, alucinaciones, extrema dificultad para tragar, hasta el punto que rechazaba los líquidos, espasmos frecuentes en la cara, boca y cuello, babeo continuo y, finalmente, desorientación acompañada de fiebre alta.

Cada año, muertes como ésa aguardan a más de 25.000 seres humanos de todo el mundo, panorama desolador que podría cambiar muy pronto gracias al desarrollo, durante los últimos 30 años, de métodos de inmunización de animales escogidos al azar en sus madrigueras. El material utilizado incluye varios cebos comestibles y una vacuna fabricada mediante ingeniería genética.

La necesidad de centrarse en animales surgió en parte porque los métodos de prevención de la rabia en el hombre presentan más inconvenientes. El virus rábico produce la enfermedad en cualquier mamífero y se propaga por medio de la mordedura de un animal infectado. Una vez aparecen los síntomas, es mortal, pero puede bloquearse mediante la administración oportuna de una serie de vacunas en cuanto se sufra la agresión. La vacuna, que hoy se puede inyectar en el brazo mejor que en el abdomen, deriva de virus inactivos, que estimulan al sistema inmunitario para que destruya el virus activo, sobre todo cuando la inoculación se combina con la aplicación de anticuerpos antirrábicos específicos en la zona lesionada.

Por desgracia, miles de personas, que probablemente no están infectadas, reciben tratamiento ante la duda de si el animal que les ha mordido está o no rabioso. Al coste elevado de la vacunación, hemos de sumar los efectos secundarios que puede acarrear. Tales consideraciones hacen desaconsejable la inmunización profiláctica generalizada.

Ni siquiera las mejoras introducidas en la vacunación garantizan al hombre una protección completa. Y lo que resulta preocupante, en la inmensa mayoría de los casos la muerte por rabia la sufren habitantes del Tercer Mundo. Quienes se ven atacados por animales infectados no tienen acceso muchas veces a la terapéutica adecuada o no pueden costearla.

La inmunización rutinaria de las especies animales que con mayor frecuencia pueden transmitirnos el virus rábico resultaría un medio más eficaz para salvar vidas humanas y ahorrar sufrimientos a los animales. En cierta medida, dicha inoculación es ya una realidad. En muchas naciones desarrolladas, la vacunación periódica de los perros domésticos ha terminado con la transmisión canina al hombre. Del mismo modo puede limitarse la enfermedad comunicada por los gatos.

No obstante, la atención veterinaria es muy difícil de conseguir en los países en vías de desarrollo, donde los perros continúan siendo los responsables del 90 % de todas las muertes humanas producidas por la rabia. Un problema añadido lo proporcionan los animales salvajes, difíciles de apresar y de transportar hasta el veterinario local, que constituyen una auténtica amenaza.

En el caso de estos grupos desatendidos parece prometedora la distribución de cebos impregnados de vacuna para que los animales los coman en su hábitat natural. Este método ha permitido detener la difusión de la rabia transmitida por los zorros en Europa occidental y Canadá. A tenor de ciertas investigaciones provisionales, podría controlarse de igual forma la rabia en otras especies.

En los Estados Unidos se está ensayando un cebo, portador de vacuna, para mapaches. Si se alcanzan resultados satisfactorios, se habrá controlado una epidemia de rabia, que brotó en Florida durante los años cincuenta, transmitida por estos animales y extendida ya por la costa atlántica. En un horizonte más amplio, en el caso de que pudiéramos perfeccionar el cebo y distribuirlo entre los canes de los países subdesarrollados habríamos conseguido cortar de raíz la rabia humana en todo el mundo.

La situación actual, tan esperanza-

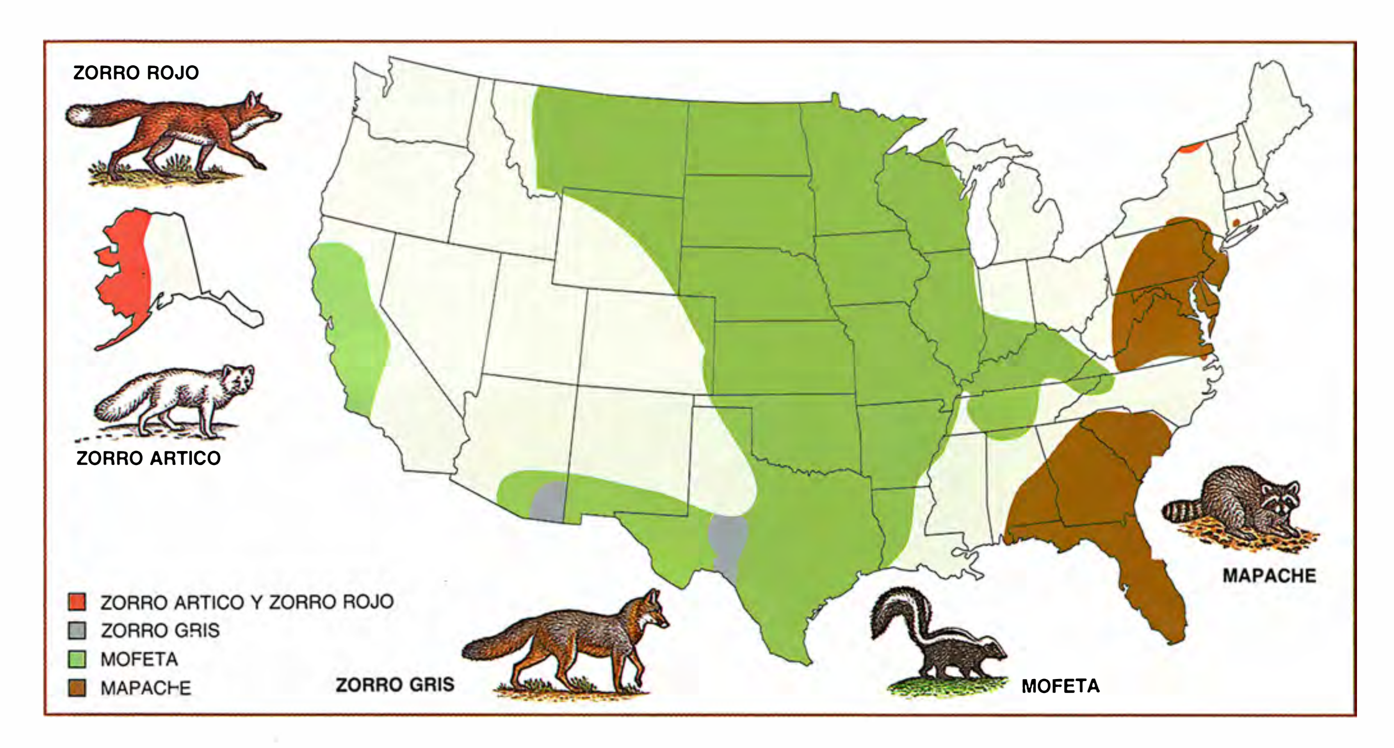
WILLIAM G. WINKLER y KONRAD BÖGEL son veterinarios. Ambos han dedicado su carrera a la prevención y tratamiento de las enfermedades de los animales. Winkler pasó 26 años en el Centro para el Control de las Enfermedades antes de retirarse en 1989. Desde entonces ha actuado como asesor del gobierno norteamericano y de la Organización Mundial de la Salud. Bögel, profesor de microbiología y epidemiología de la Universidad de Munich, dejó su puesto de director de la unidad de salud pública veterinaria de la OMS en enero de 1992, cargo al que había accedido en 1984. Fue virólogo del Instituto Federal de Investigación sobre las Enfermedades Víricas en Animales, de Tubinga, antes de incorporarse a la OMS en 1967.

dora, contrasta con la vivida en los años sesenta, en los comienzos de la investigación sobre la vacunación de los animales salvajes. Por aquel entonces, la inmunización había reducido la incidencia de rabia canina en los Estados Unidos. Sin embargo, la infección debida a zorros, mofetas, mapaches y murciélagos, importantes reservorios de rabia en ese país, constituía un grave problema. En comparación con los perros, estos grupos mantenían un contacto menor con el hombre, pero sumaban más en conjunto.

Con el fin de controlar la rabia en los animales salvajes, los responsables sanitarios de la década de los cincuenta se centraron en grupos pequeños que albergaban el virus culpable. Emplearon toda suerte de estratagemas para exterminarlos: gasificación de madrigueras, envenenamiento, trampas y batidas a tiros. Creíase que la desaparición de muchos evitaría que los ya infectados se mezclaran con otros antes de morir. Cuando cayeran los ejemplares enfermos, sólo quedarían animales sanos. Con estas medidas se esperaba que la eliminación de la propagación de la enfermedad en grupos de-



1. MAPACHE SOSPECHOSO de ser portador de rabia, capturado en Virginia en 1983; ocurrió ello a los pocos años de que una epidemia de rabia se abatiera sobre la población de mapaches de la costa atlántica norteamericana. Los investigadores esperaban detener la epidemia mediante la distribución de cebos con vacuna incorporada entre la población de los mapaches sanos. Una mezcla de vacuna y cebo se prueba actualmente en plena naturaleza.



terminados fuera cuestión de poco tiempo.

Al reflexionar sobre lo avanzado tras diez años en programas de reducción de la población de zorros, mofetas y mapaches, los biólogos llegaron a la conclusión de que, para mejorar los resultados, había que sacrificar muchísimos animales. Tratándose de especies prolíficas, había que eliminar a menudo a más del 60 % de la población para asegurar que la erradicación de la rabia fuera más allá de un ciclo reproductivo (un año por término medio). Alcanzar este número era una labor extremadamente cara y difícil. En 1960 un estudio económico del control del zorro mostró que el costo por animal eliminado superaba los 26 dólares.

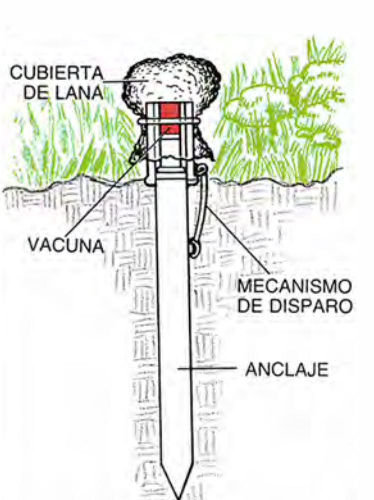
Tampoco podía menospreciarse la crueldad del método empleado. Aumentaba el interés de la gente por la conservación de la naturaleza y eran muy mal vistos los programas basados en batidas sistemáticas. Por todo ello, los programas de reducción de población, siempre exiguos, se hicieron casi inviables en los años sesenta.

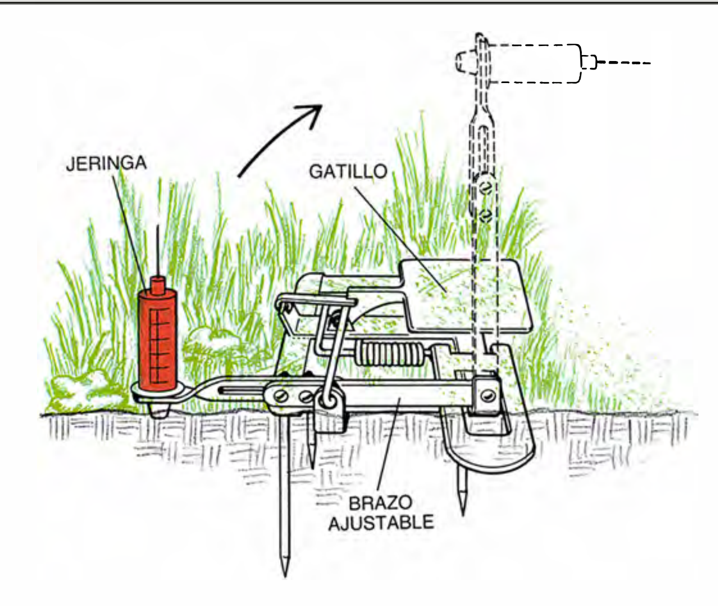
Una de las primeras salidas alternativas que se tomaron en los Estados Unidos fue la captura de ani-

Evolución de los métodos de vacunación

ATRAPACOYOTES

A comienzos de los años sesenta, los investigadores norteamericanos sustituyeron el veneno de cierta arma para matar coyotes por una vacuna comercial. Cuando los animales investigados mordían el trapo, recibían un chorro de vacuna. A veces, el chorro dañaba la boca y los animales morían de hambre.





LA TRAMPA-VACUNA

Cuando un animal pisa el gatillo de un arma enterrada, ésta se dispara e impulsa una jeringa cargada de vacuna que la inyecta en el costado del incauto. Este método, ensayado a finales de los sesenta, se comprobó que era muy arriesgado.

2. EXPANSION DE LA EPIDEMIA de rabia en los Estados Unidos, que afecta ya a zorros, mapaches y mofetas. Esos animales, con los murciélagos, acaparan el 87 por ciento de los casos denunciados de animales rabiosos en ese país. Las islas Hawai se hallan libres del virus. La rabia del mapache saltó hacia la región mesoatlántica, con el intervalo manifiesto de Carolina del Norte, en 1977, cuando los cazadores soltaron en Virginia 3500 mapaches de Florida.

males salvajes a los que se les inoculaba la misma vacuna que a las especies domesticadas; luego, se soltaban en su hábitat natural. El método, probado de modo limitado, funcionó muy bien en los individuos tratados, pero la mayoría de los animales eludía las trampas; era, además, una vía carísima, que hubo que desechar.

En 1961, George M. Baer, del Centro para el Control de las Enfermedades de Atlanta, ideó varias estratagemas para que los animales se vacunaran, ellos mismos y en su medio natural. Considerado hoy abanderado de la autovacunación, no se recibieron precisamente con aplauso sus proyectos en aquellos días.

Buena parte del escepticismo tenía que ver con los productos comerciales disponibles, fabricados a partir de cepas vivas, aunque atenuadas, de virus rábico. Ciertas especies, sobre todo los roedores, podían adquirir la rabia a partir de virus atenuados. Por ello, algunos expertos temían que, después de distribuir la vacuna, los virus atenuados, que experimentan alguna replicación en el organismo, recobraran su facultad de multiplicarse en grandes cantidades y recuperaran su virulencia.

Esos temores aflorarían más tarde. Primero había que conseguir un método práctico de vacunación. En un trabajo pionero, Baer adaptó para la administración de la vacuna un arma diseñada originalmente para envenenar ovejas y matar coyotes. Se llamó el "atrapacoyotes" y consistía en una pipa semejante a una pistola; se enterraba de suerte que sobre la hierba hubiera sólo la parte superior del cañón y el disparador. El cañón se cubría con lana perfumada para atraer a las víctimas. Cuando el coyote arrimaba el hocico a la lana y tiraba con la boca, el gatillo se soltaba y la pistola disparaba un chorro de cianuro en el interior de su boca.

Baer intentaba inducir la inmunidad sustituyendo el veneno por una vacuna comercial. Esperaba que las partículas víricas atravesaran la mucosa bucal y provocaran una respuesta inmunitaria. Pero la vacuna oral no conseguía la deseada inmunización de los animales, con el agravante de que el chorro eyectado producía frecuentes lesiones en la boca, que impedían comer durante algún tiempo a los animales tratados. Ello dificultaba su supervivencia en estado salvaje. No se experimentó este método de autovacunación, ni otros, en los murciélagos, pues suelen alimentarse de insectos en vuelo y no buscan comida en el suelo.

Hubo que recoger velas. Los investigadores desarrollaron otros métodos de vacunación, pero casi todos difíciles de probar fuera del laboratorio, hasta que dieron con un pequeño aparato, "la trampa-vacuna".

Este artilugio se basaba en parte en las trampas convencionales de acero, que sujetan las patas del animal que pisa un disparador oculto en el suelo. En la trampa-vacuna, la presión ejercida sobre el gatillo hacía pivotar un brazo metálico que clavaba una jeringuilla en el lado escogido, de la que salía vacuna a presión.

A mediados de los sesenta uno de nosotros (Winkler), veterinario del Centro para el Control de las Enfermedades, ensayó con la trampa-vacuna, durante dos meses, en la isla californiana de San Clemente. Inmunizó el 25 % de los zorros salvajes y el 16 % de los gatos extraviados de la isla. Los animales, que no poseían anticuerpos frente a la rabia antes del tratamiento, los produjeron a continuación del mismo en grandes cantidades. No se perdió ninguna vida ni se produjeron daños visibles en los animales o en su entorno.

EL CEBO EMBUTIDO
En los años setenta, se inmunizaron en los Estados Unidos zorros cautivos alimentándolos con este cebo. Cuando lo mordían, sus dientes rompían la paja y la vacuna se derramaba en su boca. El método no se llegó a ensayar en el campo.

CEBOS PRODUCIDOS EN MASA
Desde 1985 se multiplicaron los tipos de cebos en Europa y Canadá. La cubierta cerosa que envuelve este paquete con vacuna lleva aroma de pollo para atraer a los animales y tetraciclina como marcador de la ingesta.



CABEZAS DE POLLO
Los suizos convirtieron las cabezas de pollo en cebos provechosos cuando en los años setenta insertaron un pequeño paquete de vacuna en su parte posterior. Las cabezas de pollo perdieron popularidad a finales de los ochenta.

Pero las trampas-vacuna no podían, sin un gran dispendio, inmunizar al 60-70 % de cualquier población, número requerido para eliminar la rabia de una zona. Además, el animal tenía que accionar el gatillo desde un ángulo específico para que la jeringuilla se introdujera en la región adecuada. Por si fuera poco, había riesgo real de que otros animales, y hasta el propio hombre, pisaran el disparador y recibieran la dosis de vacuna. Sin minusvalorar el temor de una exposición plausible al virus atenuado, fue el peligro de las agujas "volantes" lo que terminó por firmar la sentencia de muerte de la trampa-vacuna.

Winkler y su equipo resolvieron el problema de la seguridad cierta tarde en que acababan de colocar 130 aparatos en diversos puntos de una playa. Alguien les informó que la isla, dependiente de la Armada estadounidense y campo de maniobras de la misma, iba a ser invadida aquella noche por una "fuerza de ataque" de los marines. Los atacantes, ignorantes del estudio, podían ser heridos de consideración por las agujas de las trampas-vacunas mientras se arrastraban por la playa.

Tras avisar a los oficiales de la isla, éstos ordenaron a los científicos que dejaran las trampas-vacuna en su sitio aduciendo la razón de que el azar serviría de una variable más a sopesar de la capacidad del invasor. A la mañana siguiente, tras una noche de insomnio y temor, los investigadores respiraron tranquilos al hallarse con que, si bien se habían vacunado bastantes, no había ningún herido. Pero esa comprobación del peligro potencial convenció incluso a los más escépticos de la necesidad de crear un aparato más seguro.

La única solución razonable era conseguir un señuelo mecánico que contuviera la vacuna en el cebo apetecible para el animal. Así comenzó el proyecto de vacunación antirrábica oral del Centro para el Control de las Enfermedades. Pese al fracaso del método experimentado con los coyotes, había razones para pensar que la vacuna oral saldría adelante. Se había conseguido ya en otras ocasiones inmunizar los ratones alimentándolos con los cadáveres de animales rabiosos.

No iba a ser fácil, empero, obtener una inmunización oral segura en los animales salvajes. El primer problema lo planteaba la propia vacuna. La ingestión de las disponibles no producía ningún efecto, pues no atravesaban las mucosas oral y faríngea y, además, los ácidos gástricos las degradaban. Debían vencerse esas dificultades antes de abordar los cebos.



3. SE HA SEMBRADO UNA EXTENSA ZONA DE EUROPA de cebos cargados con vacuna en un esfuerzo por erradicar la rabia del zorro del continente. En las zonas en verde se colocaron cebos entre 1978 y 1990; en las regiones en marrón se introdujeron en 1991. La operación se interrumpe cuando la rabia se erradica de una zona. La primera distribución a gran escala se realizó en el valle del río Ródano, en 1978 (*detalle*); allí se distribuyeron cebos con cabezas de pollo para prevenir la extensión por todo el valle de una epidemia proveniente del zorro.

Baer y John G. Debbie, un virólogo veterinario, colaboraron con el Departamento de Salud del estado de Nueva York en su empeño de introducir un virus rábico atenuado en una cápsula de efecto retardado, semejante a las utilizadas para la administración de medicamentos de larga duración. De forma independiente, John G. Black y su colaborador Kenneth F. Lawson, de los laboratorios Connaught, de Toronto, trabajaron en la misma línea. Buscábase proteger la vacuna en su paso por el estómago encapsulándola, para liberarla después en el intestino. Desgraciadamente, el método no conseguía una producción adecuada de anticuerpos.

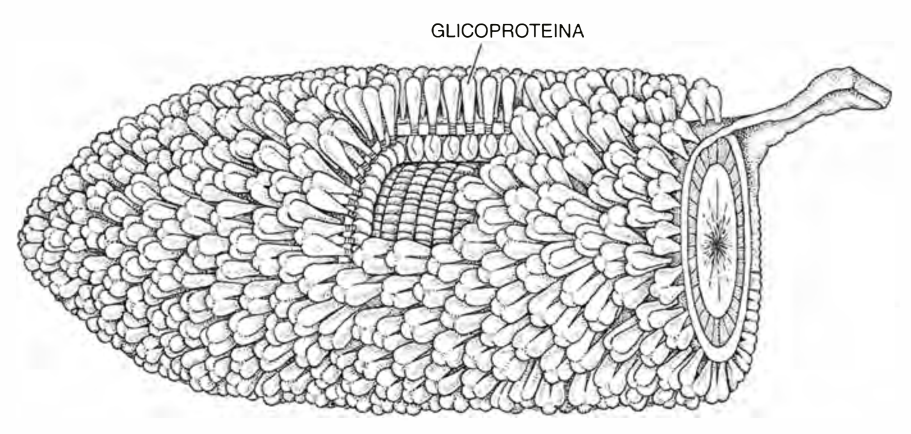
Era evidente que el futuro de la inmunización oral estaba ligado a la obtención de una vacuna que pudiera absorberse a través de las membranas de la boca y la garganta, antes de llegar al estómago. Como el virus rábico atraviesa las mucosas con dificultad, es necesaria la presencia de muchas partículas víricas para asegurar el hecho de que bastantes de ellas realizarán el trayecto. Había que diluir al máximo las vacunas y aumentar su potencia, y éste fue el siguiente paso.

A finales de los años sesenta, Baer, en colaboración con virólogos de instituciones públicas y privadas, alcanzó el objetivo: logró el crecimiento del virus en cultivos celulares derivados de riñones de ratones. Estas células facilitan una producción de virus rábico mayor que la obtenida con cualquier otro sistema de crecimiento. El equipo de Baer también había reforzado la estabilidad: la va-

cuna podía permanecer durante días a la intemperie.

Había llegado el momento de que Baer y Winkler prestaran atención a los cebos. El ideal debía englobar la vacuna sin reaccionar con ella, ni disminuir su potencia; de fácil manejo y colocación en el campo, tenía que ser también atractivo para las especies deseadas y repulsivo para los otros grupos de animales. Lo mismo que la vacuna, el cebo debía ser estable y resistente al calor y la lluvia.

Sus colaboradores ensayaron combinaciones de cebo y vacuna por docenas. Entre otras, una que impregnaba todos los tamaños y formas de galletas para perros con vacuna y las recubría de ceras y sebo, para que tuvieran diferentes y atractivos olores.



4. EL VIRUS DE LA RABIA está compuesto por un núcleo helicoidal (*descubierto*) en donde se almacena su genoma de ARN y por una envoltura lipídica salpicada de moléculas de una glicoproteína. Esta última produce una respuesta inmunitaria en los animales huéspedes. El gen de la glicoproteína ha sido recientemente insertado en un virus atenuado para formar un agente inoculante que confiera inmunidad sin causar la rabia. El dibujo ha contado, para su realización, con la información aportada por William H. Wunner, del Instituto Wistar.

En el laboratorio se analizaron sólo los prototipos que mejor resistieron las temperaturas extremas y la humedad. Se comenzó por animar a zorros, mapaches y mangostas para que comieran los cebos con vacuna. (Las mangostas habían contraído la rabia a partir de un brote en las islas del Caribe.) Después, 14 y 30 días más tarde, se extrajo sangre para determinar el nivel de los anticuerpos rábicos. Los mapaches y las mangostas nunca tenían anticuerpos en estos primeros estudios; los zorros, más sensibles al virus rábico, mostraban una respuesta mejor, y, consiguientemente, el proyecto acabó por centrarse en ellos.

Ocurrió que, mientras tomaba un bocado en un restaurante McDonalds, a Winkler se le despertó la imaginación llevándole hacia lo que constituiría su primer éxito con los zorros. Baer había sugerido que el salchichón ahumado común podía ser un buen cebo. Al mirar las pajas de plástico de McDonalds utilizadas para beber, Winkler imaginó que la vacuna se introducía en una paja, se tapaban los extremos y se colocaba en el interior del salchichón.

Cuando en 1972 Winkler y Baer alimentaron con los cebos de salchichón a los animales enjaulados en el laboratorio, observaron que todos ellos comían los cebos con entusiasmo e ingerían la vacuna a medida que sus dientes perforaban las pajas. Ninguno enfermó y todos podían resistir una dosis letal de virus rábico. (Casi contemporáneamente, en Alemania se conseguía la inmunización por vía oral de zorros apresados.)

Respaldado por estas pruebas, Winkler llevó a cabo en 1974 un estudio de campo sobre cebos sin vacuna. Los colocó entre Alaska y la isla de Amak, en donde los únicos mamíferos residentes eran los zorros rojos y algunos pequeños roedores. Allí también los zorros terminaron con los cebos a medida que se iban colocando. Algunos biólogos pensaron que, a lo mejor, estaban almacenando comida para su consumo posterior, aunque no pudo comprobarse.

Este éxito parecía justificar el que se acometiera un ensayo a la intemperie de cebos con vacuna. Pero no resultó. El estudio de la isla de Amak demostró que la rabia de los zorros disminuyó en los Estados Unidos por causas naturales y el proyecto de la vacuna antirrábica oral quedó suspendido.

Al mismo tiempo que la rabia del zorro disminuía en los Estados Unidos, se convertía en epidémica en Europa, con la consiguiente alarma de la población. Por este motivo, a principios de la década de los setenta, uno de nosotros (Bögel), veterinario de la Unidad de Salud Pública Veterinaria de la Organización Mundial de la Salud, convocó a científicos americanos y europeos, entre los que se encontraban Baer y Winkler, con el fin de estudiar la posibilidad de vacunar por vía oral a los zorros de Europa. Mientras que en los Estados Unidos varias especies eran reservorio de la rabia, el zorro constituía la principal amenaza en Europa.

Fruto de esa reunión, los expertos europeos, contando con el respaldo moral y la ayuda finaciera de la OMS, continuaron con el proyecto de vacunación antirrábica oral, una vez que el gobierno norteamericano perdiera su interés por él. Durante muchos años, quince grupos de trabajo de nueve países colaboraron en el estudio de la composición de los cebos y vacunas, su seguridad y la fisiología y conducta de los zorros. El Centro para el Control de las Enfermedades suministró a los europeos los virus necesarios para producir su propia clase de vacunas; no obstante, cada grupo optó por desarrollar sus propios cebos.

Franz Steck y Alexander I. Wandeler, por entonces en la Universidad de Berna, estuvieron entre los primeros y más entusiastas europeos que participaron en el proyecto. En un principio compararon los diferentes tipos de cebos, sobre todo los compuestos por cabezas de pollos (proporcionadas por industrias de aves) que llevaban debajo de la piel un paquete lleno de vacuna.

Con el fin de evaluar la aceptación del cebo y la eficacia de la vacuna, se fijaron áreas para examinar el número de individuos y las especies que tomaban los cebos. Los estudios realizados con cabezas de pollos, carentes de vacuna pero portadores de un colorante de tetraciclina, detectable éste en los animales que comían los cebos, indicaban que los zorros los aceptaban con rapidez. Las especies fuera de control apenas si robaban cabezas de pollo.

Por la misma época y de forma independiente, varios laboratorios de Suiza, Alemania y Francia estudiaron la capacidad de cierta versión atenuada del virus de la rabia para provocar la enfermedad en roedores y otras especies no contempladas en el proyecto. Si estos animales se infectaban con facilidad y transmitían la infección a otros animales, tamaña

sensibilidad haría peligrosa la dispersión de la vacuna.

Aun cuando la vacuna se administre así para asegurar la infección, enferman muy pocos animales. En los que contraen la enfermedad, la cantidad de virus que hay en los tejidos es tan pequeña que la transmisión de la infección a otros animales resultaba muy improbable. De hecho, los que examinaron la transmisión secundaria no encontraron ninguna. El virus de la vacuna no aumentó en ningún caso su virulencia. Estos y otros estudios complementarios abonan la idea de que podrían suministrarse sin miedo las formas atenuadas, por ser mínimo el riesgo de pasar la rabia a las poblaciones no controladas.

Pese al torrente de datos que avalaban la seguridad del método, muchos alemanes seguían dudando, entre ellos Gunther Wachendorfer, del Instituto estatal de Veterinaria de Frankfurt. Pero cuando Wachendorfer examinó los efectos causados por una cepa vírica alternativa, sus resultados respaldaron el uso de la cepa ensayada en las investigaciones anteriores.

La acumulación de pruebas, sumada al notable poder de persuasión de Steck, convencieron al gobierno suizo para que aprobara una prueba de seguridad en el campo. A mediados de los años setenta, Steck y Wandeler llevaron a cabo la primera liberación europea en el campo de un virus de la rabia vivo. Colocaron cebos portadores en una isla del río Aare, donde no existía el virus, y controlaron el efecto producido en los roedores que vivían en ella. Ninguno contrajo la rabia.

Mientras tanto se realizaron estudios sobre la conducta, movimientos, hábitos alimentarios, cambios en la población y necesidades de inmunización de los zorros europeos, que proporcionaron la información necesaria para planificar las campañas de vacunación. Tal información es imprescindible para determinar el número de cebos que hay que esparcir en una superficie y el momento del ciclo vital del zorro en que esta tarea será mejor.

A finales de la década de los setenta, las autoridades sanitarias y los investigadores europeos se encontraban en una situación idónea para ensayar las vacunas orales con virus vivos en zonas extensas. La ocasión se presentó en 1978, al producirse un brote de rabia en los zorros que vivían en la orilla este del lago de Ginebra, en Suiza, con el peligro de su propagación hacia el sur a través del valle del Ródano. La epidemia parecía destinada a penetrar profundamente en el interior del valle y quizá volverse hacia el este junto con el río.

En octubre, Steck y Wandeler dedicaron sus esfuerzos a la creación de un cordón sanitario o barrera que detuviera la propagación de la epidemia antes de que avanzara hacia el este. Tiempo atrás se habían levantado barreras contra otras enfermedades animales, expulsando a los individuos sensibles del área situada frente a una epidemia que avanza. En este caso, la barrera estaba formada por zorras inmunizadas con cebos de cabezas de pollo y vacuna incorporada; los bocados se habían distribuido por una extensa franja del valle del Ródano (perpendicular al río) y por las laderas de las montañas circundantes para impedir que los zorros infectados subieran por las colinas y rodearan la barrera.



5. UN CARTEL urge a los mexicanos a que vacunen a sus perros. Los animales domésticos sin vacunar y perros cimarrones causan la mayor parte de la rabia humana, sobre todo en el Tercer Mundo. La distribución de cebos con vacuna podrá algún día controlar la rabia canina. Alan M. Beck, de la Universidad de Purdue, fotografió el cartel en 1975.

El equipo suizo colocó 4050 cebos a mano, cubriendo una superficie de 335 kilómetros cuadrados en la curvatura del río, en el cantón de Valais. Y aguardaron. El brote de rabia continuó por el valle; mas, para alborozo de los investigadores, se detuvo en la frontera regional.

El éxito de esta prueba se repitió en otros valles helvéticos. Como era de esperar, con cada éxito aumentaba el interés del gobierno suizo y pronto se allegó dinero para programas de vacunación que abarcaban todo el país. Desgraciadamente, Steck murió durante esta etapa, en 1982, cuando el helicóptero desde el que distribuía los cebos se estrelló contra una montaña.

En 1983, la República Federal de Alemania, que había apoyado con interés la investigación sobre vacunas con virus vivos, aunque no quiso entrar en su empleo en la naturaleza, se convirtió en el segundo participante comprometido en los ensayos de campo. Los alemanes cambiaron su postura cuando contaron con técnicas que permitían saber si el animal rabioso había adquirido la enfermedad a partir de una vacuna o de una cepa salvaje; y se reafirmaron en el cambio, cuando se consiguió la detección precoz de la virulencia adquirida por el virus atenuado de la vacuna.

De hecho fue un veterinario alemán el que ideó un complejo equipo de fabricación en serie de cebos portadores de vacuna. Estamos hablando de Lothar G. Schneider, del Centro Nacional Alemán para la Coordinación de la Rabia, de Tubinga. El método de Schneider proporcionaba más de dos millones de cebos en forma de cubo anuales, cantidad muy superior a los escasos centenares de miles de cabezas de pollo producidas para cebos por las granjas suizas. Los tacos cúbicos así fabricados empaquetaban el fluido vacunal en un recipiente, rebozado en harina de pescado u otros aromatizantes, a lo que se añadía grasa protectora o cualquier otro material blando. Por regla general, los cebos incluían tetraciclina para controlar su ingesta por los animales salvajes.

En 1989 se utilizaron cinco clases de vacunas con virus vivos para inmunizar a los zorros en Europa. Todas estaban emparentadas con la vacuna estudiada en un comienzo en los Estados Unidos, en donde no había sido probada en el campo. Doce países europeos controlaban la rabia en los zorros mediante vacunación oral bajo la coordinación del Centro Colaborador de la OMS de Tubinga. A su vez, los equipos de trabajo ca-

nadienses empezaban a examinar la utilidad de la distribución por aire de los cebos producidos en serie en áreas extensas.

Hoy en día, Suiza se halla exenta de rabia, salvo cuando se producen esporádicas incursiones a través de sus fronteras con los países vecinos. La rabia está desapareciendo rápidamente en otras naciones que han aplicado de forma intensiva la vacunación oral. La rabia del zorro puede desaparecer de Europa en los próximos años. Por vez primera en la historia, una enfermedad de animales en libertad se está erradicando sin diezmar gravemente su número.

Aunque el trabajo llevado a cabo en los zorros ha demostrado la viabilidad de la inmunización oral en la naturaleza frente a la rabia, y quizá también frente a otras alteraciones, se necesitaban vacunas alternativas para controlar la rabia en los mapaches, mofetas o perros cimarrones. No se ha modificado el hecho, observado desde un comienzo, según el cual la administración oral de preparaciones con virus vivo son eficaces por regla general sólo en zorros.

Una vacuna "candidata", probada en el laboratorio, se ha mostrado segura y eficaz en varias especies. Es un producto de ingeniería genética que será más seguro que las primeras vacunas, debido a que abarca exclusivamente parte del virus, y no todo. Por consiguiente, no puede provocar la rabia.

Investigadores del Instituto Wistar, de Filadelfia y de Transgène, S.A., de Francia, pusieron a punto la vacuna en 1984 insertando un gen del virus rábico en una variedad atenuada de vacuna, que es ya un virus inocuo. El gen elegido porta instrucciones para sintetizar una glicoproteína (una molécula que contiene proteína y azúcar) que emerge normalmente de la cápside del virus. Cuando la vacuna se multiplica en las células del huésped, éstas producen glicoproteína, que a su vez lleva a la formación de anticuerpos contra el virus de la rabia. Esta recombinación se utiliza en la actualidad de forma muy extensa para los zorros en varios países, entre ellos Bélgica y Francia y parece ser tan eficaz al aire libre como la vacuna antirrábica con virus atenuado.

En los Estados Unidos también se realizaron pruebas en el campo con los mapaches como animales de experimentación. Charles E. Rupprecht y sus colaboradores de Wistar colocaron cebos con vacuna, preparados al gusto de los mapaches, en una isla frente a Virginia. Se comprobó que los mapaches vacunados producían anticuerpos rábicos y que las especies no controladas, que fueron seguidas durante un año, no se vieron afectadas. Se está realizando ahora un ensayo de campos similar tierra adentro, en Pennsylvania.

Prosiguen los ensayos en la naturaleza, a la vez que se investigan otras vacunas y cebos, así como las mejores combinaciones para las diferentes especies. En esta línea, los sustitutos de la vacuna vírica podrían mostrar su eficacia en la inmunización de las mofetas y los perros. Durante los próximos años, la vacunación oral puede detener la rabia epidémica de los mapaches en América y aplicarse a otras especies, siempre que se mantengan los fondos para investigación, algo que no se considera prioritario en estos momentos en los Estados Unidos. Y es de presumir que la recombinación de vacunas orales llegue también al hombre.

Podrían diseñarse programas de vacunación oral contra otras enfermedades de animales salvajes. Por ese camino, la investigación germana abona la posibilidad de proteger a los zorros contra la solitaria mediante una vacuna incorporada en un cebo.

No obstante, desde el punto de vista de la salud humana la perspectiva más interesante reside en la posibilidad de obtener muy pronto una vacuna antirrábica que se distribuya a los perros que permanecen sin vacunar. Cuando se consiga la protección de los canes en los países subdesarrollados, la cifra mundial de personas expuestas a morir de rabia caerá drásticamente.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

RABIES IN TROPICS. Dirigido por E. Kuwert, C. Mérieux y K. Bögel. Springer-Verlag, 1985.

RABIES. Dirigido por J. B. Campbell y K. M. Charlton. Kluwer Academic Publishers, 1988.

RESEARCH TOWARD RABIES PREVENTION. Congreso celebrado en Washington D.C., 3-5 de noviembre, 1986. Dirigido por George M. Baer *et al.* en *Reviews of Infectious Diseases*, vol. 10, Suplemento 4; noviembre-diciembre 1988.

PROGRESS IN THE RABIES CONTROL. Dirigido por O. Thraenhart, H. Koprowski, K. Bögel y P. Sureau. Wells Medical Publishers, 1989.

THE NATURAL HISTORY OF RABIES. Dirigido por George N. Baer. CRC Press, 1991.

WILDLIFE RABIES CONTROL. K. Bögel, F. X. Meslin y M. Kaplan. Wells Medical Publishers (en prensa).

Primeros resultados del telescopio espacial Hubble

Pese a sus imperfecciones ópticas y mecánicas, el Hubble ha retransmitido gran abundancia de imágenes sorprendentes y reveladores retratos espectrales de distintos objetos cósmicos

Eric J. Chaisson

El 25 de abril de 1990, el telescopio espacial *Hubble* era desplegado desde el transbordador espacial *Discovery*, marcando así el comienzo de una nueva era en la astronomía óptica. Los telescopios ópticos terrestres, desde los primitivos catalejos de Galileo hasta el recién estrenado telescopio Keck, se han visto obstaculizados por la atmósfera inquieta y distorsionante de la Tierra. En cambio, el *Hubble* fue concebido para observar el cosmos desde su atalaya, a 610 kilómetros de la superficie terrestre, con una claridad sin precedentes.

Sin embargo, no es ningún secreto que el telescopio no ha funcionado como se esperaba. Cierto número de fallos mecánicos y de diseño —especialmente la deformación de su espejo principal— han degradado la capacidad del telescopio, consternando a la comunidad astronómica y provocando una oleada de críticas desde los medios de comunicación. Pese a todo, gracias a improvisados cambios de método y a innovadoras técnicas de corrección de imagen por ordenador, el *Hubble* ha conseguido igualar la sensibilidad y superar el poder resolutivo de los mejores telescopios asentados en tierra. Es capaz incluso de detectar rayos ultravioleta —radiación de longitud de onda algo más corta que la de la luz visible— que no atraviesan la atmósfera terrestre.

Durante sus dos primeros años de operación, el telescopio espacial ha proporcionado espectaculares imágenes de tormentas en Saturno, del nacimiento y muerte de estrellas, y de enigmáticos objetos que laten casi inadvertidos en los corazones de las galaxias, tal vez gigantes agujeros negros. Por separado, ninguno de los descubrimientos realizados por el *Hubble* puede todavía calificarse de revolucionario, pero tomados en conjunto están logrando que los astrónomos se apresuren a reescribir sus libros de texto.

Con sus 11.500 kilos (seis veces el peso de un automóvil familiar), el telescopio *Hubble* es, sin duda, el observatorio civil más complejo y sensible que haya sido lanzado al espacio. Su espejo primario, de 2,4 metros de diámetro, es el mejor pulimentado y más limpio de los que hoy existen, y su avanzado sistema de guiado le mantiene enclavado sobre sus objetivos, aun orbitando velozmente la Tierra cada 96 minutos. Cuenta además con cinco instrumentos para analizar la luz que recoge.

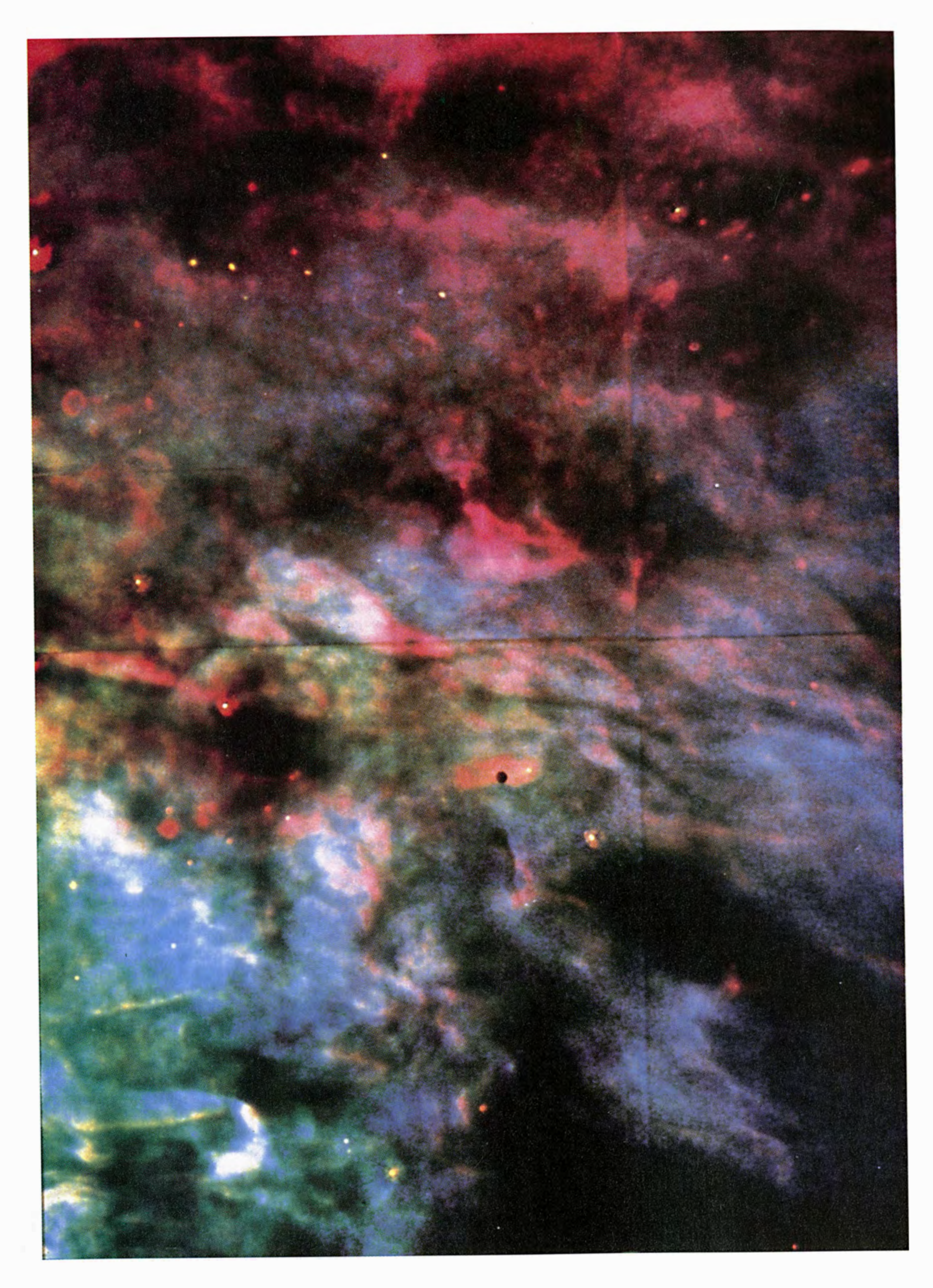
La cámara de objetos débiles, o tenues ("Faint Object Camera"), ofrece una resolución y una sensibilidad excepcionales, mientras que la cámara planetaria y de campo ancho ("Wide Field and Planetary Camera") permite la visión de un campo más extenso. Del mismo modo, dos espectrógrafos (el espectrógrafo de objetos débiles y el espectrógrafo Goddard de alta resolución) comparten la tarea de fraccionar la luz en sus distintas longitudes de onda componentes para así revelar la constitución dinámica y física del objeto observado. Un fotómetro se encarga de determinar el brillo exacto de las fuentes. Además, el *Hubble* está equipado con sensores de guiado para realizar astrometría, que consiste en la medición exacta de la posición angular de las estrellas.

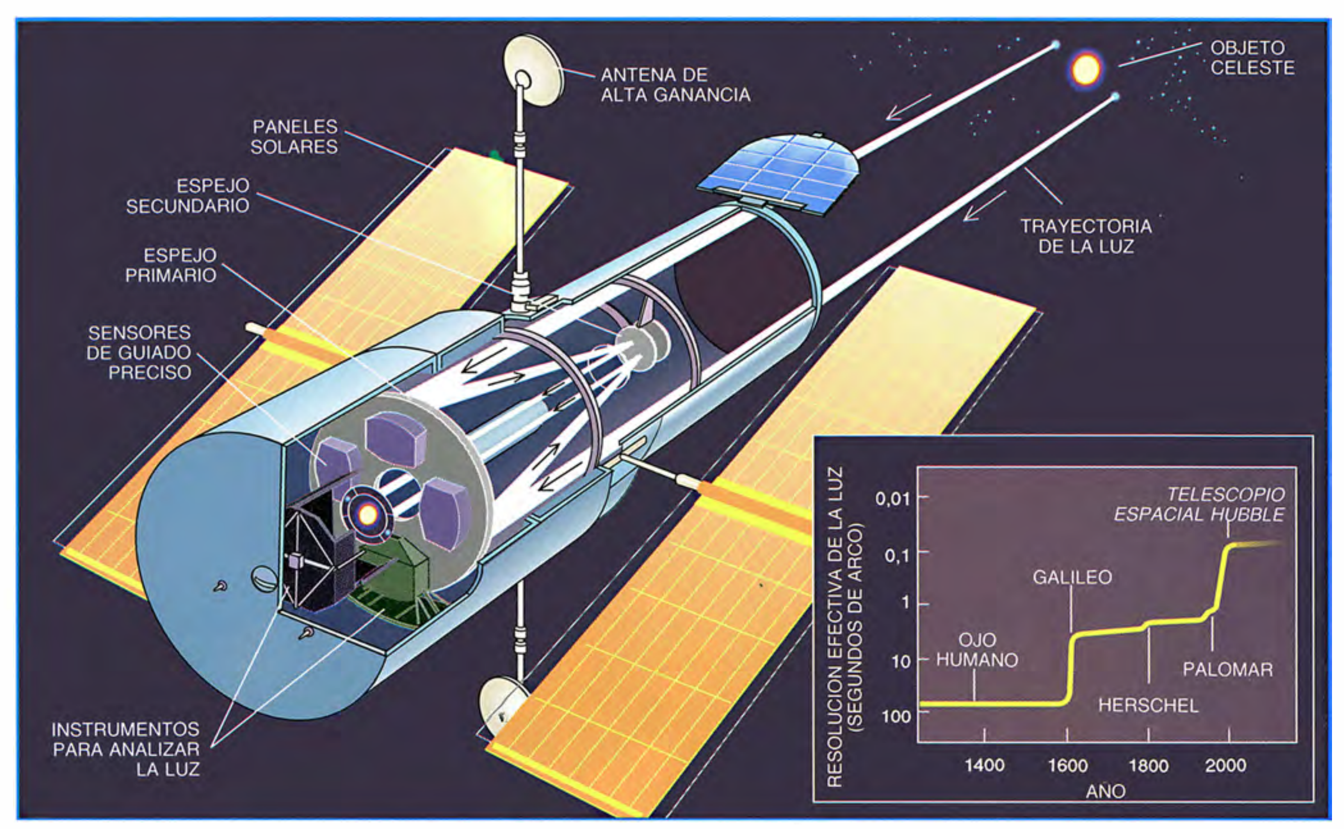
Inmediatamente después del lanzamiento del *Hubble*, los técnicos del Centro Goddard de Vuelos Espaciales (dependiente de la NASA) y del Instituto de Ciencia del Telescopio Espacial emprendieron una extensa serie de calibraciones y comprobaciones del sistema. Las primeras imágenes de prueba revelaron un problema inherente de enfoque, lla-

ERIC J. CHAISSON, adscrito al proyecto Hubble, dirige programas educativos en el Instituto de Investigación Científica del Telescopio Espacial, ubicado en la Universidad Johns Hopkins, donde es, además, profesor de física. En 1972 Chaisson se doctoró en astrofísica por la Universidad de Harvard. Ha publicado numerosos trabajos sobre relatividad y cosmología y extiende su interés a la evolución termodinámica de sistemas materiales.



1. LA NEBULOSA DE ORION, nube de gas hidrógeno de 10 años-luz de diámetro, ilustra la capacidad del telescopio espacial *Hubble*. Se han obtenido numerosas fotografías de ella desde telescopios terrestres (*arriba*), mientras que la imagen de la región recuadrada conseguida por el *Hubble* (*derecha*) muestra un accidente en forma de tubo doblado (*abajo*) y numerosos vestigios y filamentos hasta ahora jamás detectados. La formación en chorro (*izquierda*) parece consistir en materia que fluye desde una estrella recién nacida. La imagen es un compuesto de luz azul emitida por oxígeno ionizado, luz roja procedente de azufre ionizado y luz verde de hidrógeno neutro.





2. TELESCOPIO ESPACIAL *HUBBLE* y su afinidad de diseño con los modernos telescopios reflectantes terrestres. Su espejo principal, de 2,4 metros de diámetro, recoge la luz que después se distribuye entre cinco instrumentos analizadores. El defecto de enfoque del telescopio es una consecuencia de la curvatura incorrecta del espejo primario. El *Hubble* supera la resolución de los telescopios terrestres casi en igual grado que el telescopio de Galileo mejoró la resolución del ojo humano (*recuadro*).

mado técnicamente aberración esférica. El examen más detenido de las imágenes llevó a un grave descubrimiento: por un error en el pulimentado la forma del espejo principal del telescopio era dos micrometros más plana en los bordes que lo estipulado en el diseño. Por insignificante que pueda parecer esta imperfección, se trata de un craso error según los cánones de la óptica de precisión moderna.

La forma del espejo hace que sea imposible enfocar sobre un mismo punto toda la luz que recoge el *Hubble*. Los diseñadores del telescopio se habían propuesto que el telescopio fuese capaz de concentrar un 70 por ciento de la luz de una fuente puntual —una estrella lejana, por ejemplo— en un punto de 0,1 segundos de arco de diámetro (un segundo de arco es un ángulo diminuto, equivalente a 1/1800 del diámetro aparente de la Luna). Sin embargo, en la realidad, sólo un 15 por ciento de la luz captada cae sobre esta imagen central, dispersándose el 85 por ciento restante sobre un halo no deseado de varios segundos de arco de diámetro.

También han aparecido otras dificultades: en dos posiciones de cada órbita, cuando el *Hubble* entra y sale de la sombra de la Tierra, el brusco cambio de temperatura producido hace que los grandes paneles de células solares del telescopio se agiten 30 centímetros hacia arriba y hacia abajo cada 10 segundos, de lo que resulta una fluctuación capaz de desajustar el sistema de puntería del telescopio e introducir borrosidad adicional en las imágenes astronómicas. Dos de los seis giróscopos que posee el *Hubble* han dejado de funcionar y un tercero lo hace intermitentemente, siendo así que el telescopio necesita al menos tres giróscopos para realizar sus operaciones científicas normales. Por último, se han observado contactos eléctricos defectuosos que amenazan con inhabilitar el espectrógrafo de alta resolución.

La NASA espera poder resolver algunos de estos problemas en 1994, fecha en la que se prevé la visita de un grupo de astronautas al *Hubble* para reemplazar los paneles solares del telescopio y dos de los giróscopos. También se espera que puedan instalar módulos de óptica correctiva y una versión mejorada de la cámara planetaria y de campo ancho, si para entonces se han terminado los nuevos dispositivos.

Mientras tanto, los científicos han aprendido con rapidez a estrujar hasta el límite las posibilidades del telescopio espacial. Puesto que el espejo del *Hubble* se pulimentó con una precisión extrema y se conoce muy bien la naturaleza de su defecto, se han empleado técnicas de perfeccionamiento informatizadas para devolver a un gran número de imágenes la nitidez deseada. Las imágenes astronómicas obtenidas han rebatido elocuentemente cierto pesimismo que en un principio reinaba sobre las capacidades científicas del telescopio. Por desgracia, sin embargo, el logro de tal resolución a menudo implica rechazar los halos manchados que circundan los objetos celestes observados, desechando así, literalmente, la mayor parte de la luz captada por el *Hubble*.

El contratiempo más grave de la misión científica del *Hubble* no ha sido, pues, la pérdida de resolución sino la merma de sensibilidad. Se le proyectó para detectar objetos miles de millones de veces más tenues que los que pueden apreciarse a simple vista, y en la actualidad se encuentra limitado a la observación de objetos aproximadamente 20 veces más brillantes de lo que se había previsto. No puede detectar ciertas fuentes,

particularmente esquivas, como galaxias y cuásares remotos, ni posibles planetas en la vecindad de estrellas cercanas. Los astrónomos se han visto obligados a posponer muchas de sus observaciones de mayor valor potencial hasta que el telescopio sea reparado.

Aun cuando fuera diseñado para apuntar con precisión a algunos de los objetos cósmicos más remotos, el *Hubble* ha demostrado ser muy adecuado para el estudio de objetos situados dentro del sistema solar, y como ejemplo ha captado asombrosas imágenes de los planetas gigantes, Júpiter y Saturno. Las dos sondas espaciales *Voyager* de la NASA examinaron de cerca a Júpiter en 1979, y a Saturno en 1980 y 1981. Las imágenes que de estos planetas obtiene el telescopio espacial de modo rutinario son comparables en detalle a las que consiguieron los *Voyager* tan sólo unos días antes de su máxima aproximación a dichos planetas.

Cuando el *Hubble* examinó a Júpiter, se encontró con un mundo notablemente diferente del que visitaron los *Voyager* 1 y 2. Nuevas bandas de nubes han aparecido y desaparecido, han surgido numerosas manchas (tormentas similares a los ciclones, que cubren, algunas, miles de kilómetros) y ha emergido una estructura turbulenta en el borde del "gran cinturón ecuatorial sur" del planeta. La famosa "gran mancha roja", huracán aparentemente perpetuo cuyo diámetro duplica el de la Tierra, ha cambiado su color a un opaco tono entre naranja y marrón.






3. INSTANTANEA EN COLOR DE JUPITER que parte de tres imágenes en blanco y negro, cada una tomada a través de un filtro que realza ciertos detalles. Las tres imágenes se codifican en color y se combinan.

Las primeras imágenes de Saturno captadas por el *Hubble* ilustran espectacularmente el poder resolutivo del telescopio. William A. Baum, del Observatorio Lowell, y Shawn P. Ewald, del Instituto de Ciencia del Telescopio Espacial, ensamblaron una imagen en color de Saturno tras haber programado al *Hubble* para que tomase tres exposiciones del planeta, de un segundo de duración cada una, en luz roja, verde y azul. Los expertos en imagen del laboratorio de visualización astronómica del citado instituto consiguieron de este modo una imagen en color, mejorada por medio de ordenador, en la que se recoge la estructura detallada de las bandas de nubes y los anillos de Saturno, y se contemplan las primeras vistas de alta resolución de la región polar situada al norte del planeta.

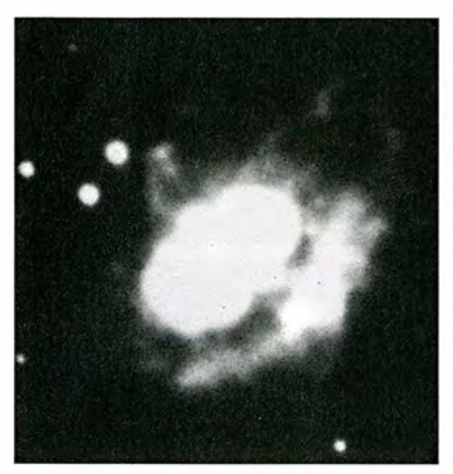
En el otoño de 1990, el telescopio tomó más de 100 imágenes suplementarias de Saturno con el fin de seguir el trayecto de una tormenta de cristales de hielo de amoníaco, llamada "gran mancha blanca", de unos 50.000 kilómetros de anchura. Estas observaciones tienen un especial valor ya que la mancha sólo aparece cada 60 años, aproximadamente.

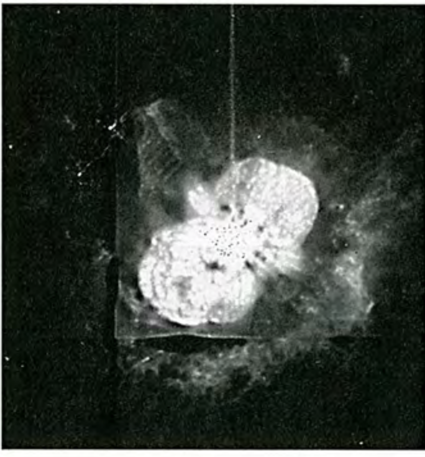
La ventaja más clara del *Hubble* para los astrónomos planetarios reside en su capacidad para proporcionar, cuando el observador lo desee, una claridad de imagen comparable con la obtenida por una sonda espacial. Philip B. James, de la Universidad de Toledo, y sus colegas observarán la atmósfera de Marte por espacio de varios años para estudiar los patrones meteorológicos del planeta con el fin de comprender los acontecimientos que desencadenan las tormentas periódicas de polvo que barren el planeta a lo largo y a lo ancho. Esta investigación constituye un requisito previo importante para cualquier expedición humana al planeta rojo. James A. Westphal, del Instituto de Tecnología de California, proyecta un estudio sistemático muy similar, cuyo objetivo es examinar los potentes sistemas meteorológicos de Júpiter.

El telescopio también ha dirigido su mirada al pequeño planeta Plutón, que orbita en los tenues límites ex-




4. CORRECCION DE IMAGEN POR ORDENADOR, mediante la cual el *Hubble* alcanza casi toda la resolución pretendida en su diseño. Esta imagen no procesada de Saturno (*izquierda*) se asemeja a la imagen que capta un telescopio de aficionado. La versión corregida (*derecha*) muestra un excelente nivel de detalle.





5. ETA CARINAE consiste en una nube polvorienta proyectada por una estrella inestable, extremadamente masiva. Las fotografías desde tierra (*izquierda*) sólo muestran un perfil general de la nube, mientras que la imagen del *Hubble* procesada por ordenador (*derecha*) desvela complejos chorros y ondas de materia. El pico de brillo vertical y las divisiones segmentadas son artificios de la imagen.

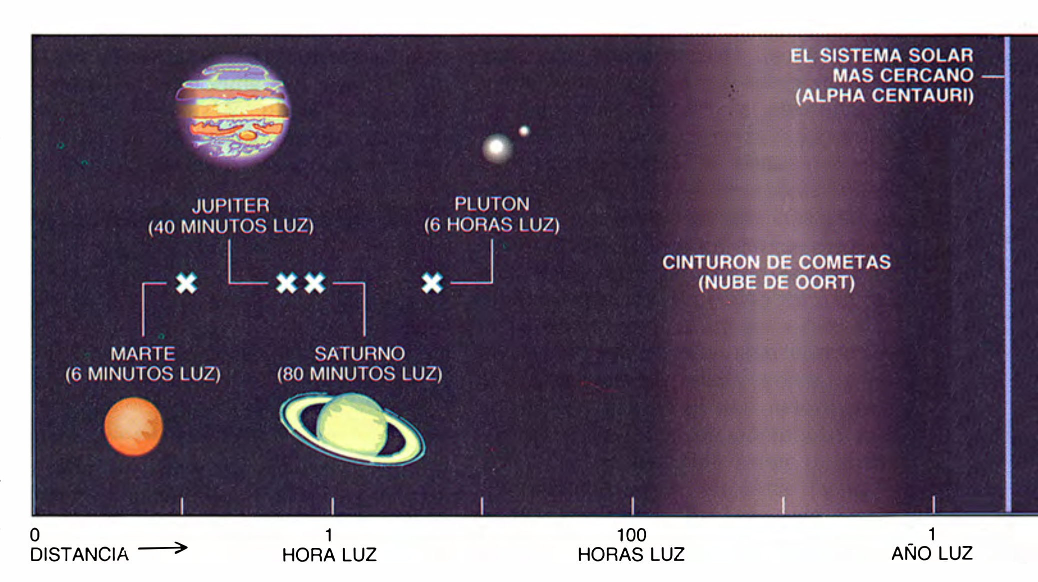
teriores del sistema solar, a casi cinco mil millones de kilómetros de distancia del Sol. Las órbitas descritas por Plutón y su satélite Caronte, este último de un tamaño considerable, distan solamente 19.000 kilómetros entre sí, por lo cual desde la Tierra aparecen confundidos en una mancha protuberante. La cámara de objetos tenues del *Hubble* ha proporcionado, por primera vez, imágenes separadas, muy claras, de Plutón y Caronte.

El análisis detallado de las variaciones del brillo de estos dos cuerpos aportará información sobre las cambiantes estructuras de sus finas atmósferas de metano. Rudolf Albrecht, del organismo coordinador europeo del telescopio espacial ("Space Telescope European Coordinating Facility"), que dirigió las observaciones de Plutón realizadas por el *Hubble*, confía en que la técnica de intensificación por ordenador consiga incluso revelar algunas marcas visibles en la superficie de ese planeta. La medición exacta de las órbitas que Plutón y Caronte describen uno alrededor de otro permitirá a los investigadores conocer con precisión sus respectivas masas y densidades, información que, a su vez, proporcionará pistas para esclarecer la composición y el origen de estos enigmáticos objetos celestes.

Mirando mas allá del sistema solar, el *Hubble* se volvió hacia la bellísima nebulosa de Orión, masa de gas ionizado incandescente (átomos que han sido despojados de algunos de sus electrones) que a simple vista se aprecia como la "estrella" central de la espada de Orión —en enormes nubes como ésta es donde nacen las estrellas—. La nebulosa de Orión, que dista 1500 años-luz de la Tierra, es la región de formación estelar más cercana y brillante. Durante años los astrónomos la han estudiado con detenimiento y estaban convencidos de que conocían bastante bien su estructura, al menos hasta que llegaron las imágenes del *Hubble*.

La cámara planetaria y de campo ancho tomó tres exposiciones de la nebulosa, de diez minutos cada una, de cuya reunión se obtuvo una imagen en color del objeto. En ella se aprecian estructuras diminutas de 0,1 segundos de arco (que a la distancia de Orión equivalen a seis mil millones de kilómetros, el radio del sistema solar), así como delgados arcos, filamentos y capas de gas ionizado que desfilan de un lado a otro y antes pasaban inadvertidos. C. Robert O'Dell, de la Universidad de Rice, que dirigía la investigación sobre la nebulosa de Orión, también se percató de la existencia de numerosos nudos brillantes, formados por gas ionizado por la acción de rayos ultravioletas procedentes de calientes estrellas jóvenes, incrustadas en la nebulosa. Sin embargo, algunos investigadores moderaron este entusiasmo por la imagen, ante el temor de que los procedimientos de intensificación por ordenador pudieran haber introducido características falsas en la misma. Las imágenes de la nebulosa de Orión son un claro exponente de la mezcla de ansiedad y frustración que sienten los astrónomos al trabajar con el *Hubble*.

Uno de los descubrimientos más intrigantes del telescopio se refiere a una etapa posterior en el nacimiento de las estrellas: el momento en que pueden empezar a formarse planetas en su entorno. En 1983, el *Satélite Astronómico de Infrarrojos* (IRAS) desveló que la estrella cercana Beta Pictoris (a 54 años-luz de la Tierra) está rodeada por un disco delgado de gas y polvo de al menos 80.000 millones de kilómetros de ancho, casi diez veces el tamaño de la órbita de Plutón; se cree que tales discos constituyen la materia prima de la cual se forman por fusión los sistemas planetarios. Con el fin de conocer más datos sobre este disco, Albert Boggess y su equipo, del Centro Goddard, utilizaron el espectrógrafo de alta resolución en el examen de la radiación ultravioleta procedente de Beta Pictoris.



6. VISTAS ASTRONOMICAS captadas por el *Hubble*; cubren un impresionante margen de distancias. Plutón dista de la Tierra un promedio de seis horas-luz (una hora luz equivale aproximadamente a mil millones de kilómetros). En comparación, el cuásar UM 675 se sitúa a 12.000 millones de años-luz. Las distancias se representan a escala logarítmica.

Bogges halló que parte del gas que circunda la estrella cae hacia adentro, en dirección a la misma. Por otro lado, el espectro de la estrella cambia de apariencia, por la razón probable de que, a medida que el disco gira, pasan entre Beta Pictoris y la Tierra diferentes porciones de materia que absorben radiación. La rapidez de la variación —ciertos cambios espectrales ocurren en menos de un mes— delata el carácter grumoso del disco. Todos estos descubrimientos dan indicios de que se está lanzando materia nueva hacia el disco, posiblemente gas evaporado de objetos de tipo cometa que giran alrededor de la estrella.

Los datos del *Hubble* no confirman ni desmienten la existencia de planetas totalmente formados alrededor de Beta Pictoris. La mayoría de los astrónomos no se convencerá del descubrimiento de planetas extrasolares hasta que una cámara fotografíe uno de ellos. En este campo, el defecto óptico del *Hubble* ha asestado un golpe mortal: el halo brumoso de luz estelar dispersa por el espejo malformado destruiría toda huella de la tenue luz reflejada por planetas que orbiten incluso las estrellas más cercanas. La búsqueda minuciosa de planetas extrasolares, uno de los proyectos clave del *Hubble*, tendrá que esperar hasta que se logre corregir el sistema óptico del telescopio.

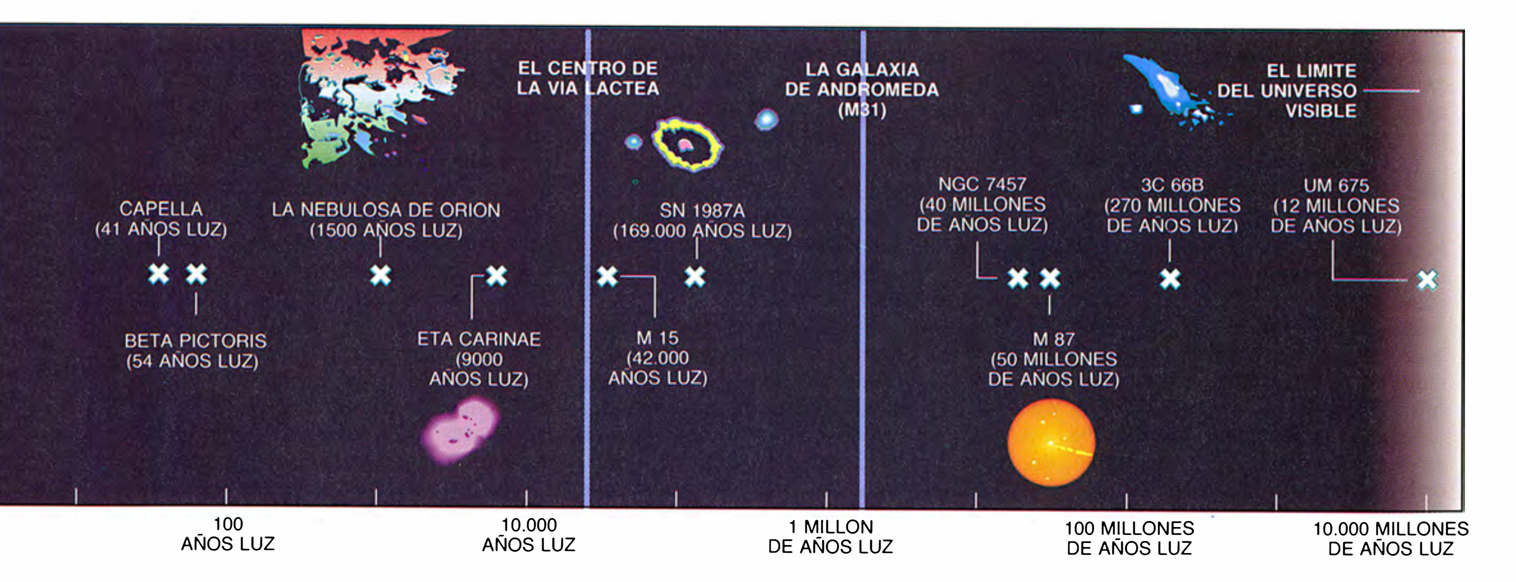
Beta Pictoris es una estrella de tipo solar, bastante sedentaria. Con ella contrasta la inestable estrella Eta Carinae, que gira muy rápidamente a 9000 años-luz de la Tierra, sobre el hemisferio sur, y fue el blanco de más alta prioridad durante la primera ronda de observaciones desde el *Hubble*. Eta Carinae quizás sea la estrella de mayor masa y energía de la Vía Láctea, con cien veces la masa solar y cuatro millones de veces el brillo del astro. Su primer fulgor data de 1843, convirtiéndose en breve tiempo en la segunda estrella más brillante del firmamento. Posteriormente se observó que una pequeña nebulosa, denominada Homunculus, había empezado a formarse en torno a la estrella.

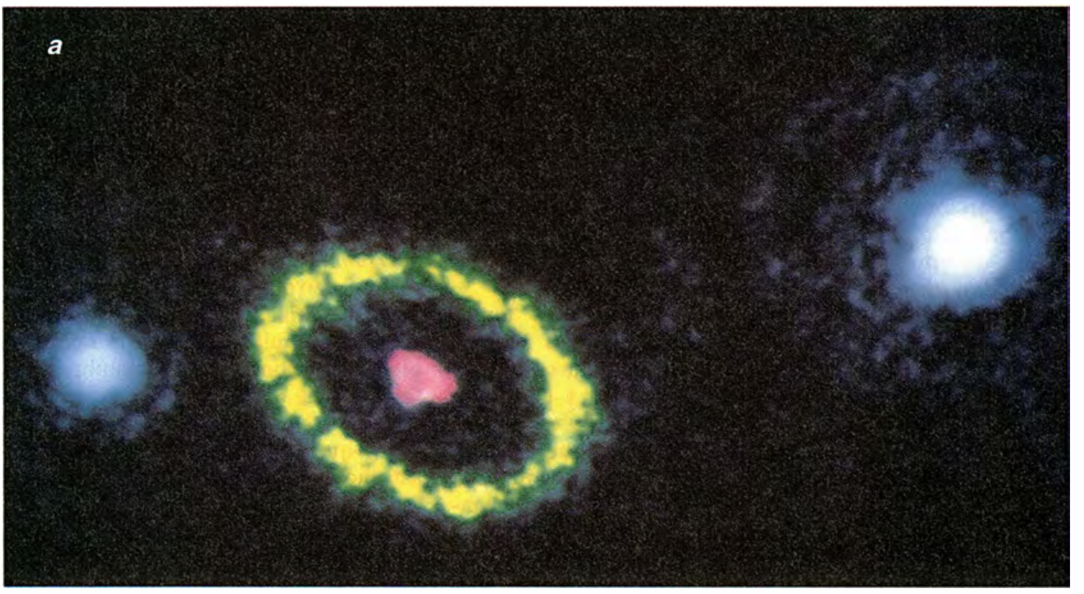
Las mejores observaciones tomadas desde tierra muestran a la Homunculus como una nebulosa pequeña, de apariencia borrosa y de forma oblonga. El *Hubble*, sin embargo, descubrió un cuadro mucho más complejo: el Homunculus tiene una forma peculiar, parecida a un cacahuete, y de su centro emergen dos chorros opuestos y rígidamente enfocados. La nube tiene un aspecto grumoso, con un borde exterior muy nítido; ello parece indicar que en realidad consiste en una delgada y polvorienta concha de materia en vez de un volumen compacto, muy probablemente material expulsado o barrido por Eta Carinae a consecuencia de su explosión.

Uno de los mencionados chorros termina en una formación en U. Es probable que esta estructura sea una onda de choque análoga a la que produce al avanzar la proa de una nave, y que se formara cuando el chorro penetró en la materia interestelar, de movimiento muy lento, que rodea la estrella. Una desconcertante serie de líneas paralelas de gas luminoso, parecidas a los peldaños de una escalera, sobresalen de uno de los lados de Eta Carinae. Es posible que los peldaños sean ondas estacionarias de años-luz de longitud, como las ondas sonoras que se producen en el interior de un tubo de órgano; o bien ondulaciones creadas al fluir la materia con rapidez a lo largo de la referida onda de choque del chorro. Una vez más, la posible existencia de artificios introducidos durante el proceso de mejora por ordenador dificulta la interpretación de esta imagen.

Si bien ha ahondado aún más el misterio que envuelve a Eta Carinae, el *Hubble* ha dado respuesta al ya viejo interrogante sobre un morador de la galaxia mucho más distante: el cúmulo globular M 15. Los cúmulos globulares son densos enjambres esféricos que contienen hasta un millón de estrellas, enorme concentración que en opinión de muchos astrónomos debería conducir a la formación de un agujero negro, es decir, un objeto colapsado de gravedad tan intensa que ni siquiera la luz logra escapar de él. Otros investigadores discrepan, sugiriendo que los rápidos movimientos de las estrellas —especialmente las estrellas binarias— cerca del centro podrían ayudar a mantener el núcleo y evitar un colapso catastrófico.

Uno de los más firmes candidatos a agujero negro era el brillante cúmulo M 15, situado en la constelación de Pegaso a 42.000 años-luz de la Tierra. Aunque el agujero en sí sería invisible, deberían resplandecer cantidades enormes de radiación en sus alrededores más inmediatos, donde la materia asciende a temperaturas extremadamente altas por efecto de la extraordinaria presión y fricción de marea, hasta desaparecer para siempre. Por tanto, un agujero debería producir un característico punto brillante de luz en el centro del cúmulo, que hasta ahora no ha podido ser apreciado por telescopio alguno, falto de la resolución suficiente para distinguir ese detalle en







el núcleo. El *Hubble*, sin embargo, puede discernir pequeños detalles de M 15, hasta de 0,02 años-luz, aproximadamente el diámetro teórico de un agujero negro que tenga 1000 veces la masa del Sol.

Tod R. Lauer, del Observatorio Nacional de Kitt Peak, realizó una búsqueda de ese pico brillante en M 15, pero al fracasar en su intento recurrió a otra técnica. Consistió ésta en la resolución por el *Hubble* de las brillantes estrellas gigantes rojas situadas en el próximo exterior de M 15, lo que permitió a los investigadores sustraerlas de la imagen, dejando en dicha imagen la región del núcleo, que contiene millares de estrellas débiles esparcidas por un radio sorprendentemente extenso, de unos 0,4 años-luz, diez veces el valor que predicen los modelos de agujeros negros. Los resultados del *Hubble* sugieren poderosamente que M 15 no alberga un agujero negro en su región central. Tal descubrimiento aporta un alivio a quienes no participamos de la tendencia a invocar la existencia de un agujero negro para explicar cualquier objeto potente del universo.

Los astrónomos han tenido un especial interés por obtener con este telescopio imágenes de los restos de SN 1987A, la brillante supernova que hizo su aparición en 1987 en el seno de la Gran Nube de Magallanes, galaxia satélite de la Vía Láctea. El 23 de agosto de 1990, la cámara de objetos débiles del *Hubble* transmitió una exposición de 28 minutos de duración de SN 1987A, apareciendo en nuestras pantallas de ordenador del Instituto la imagen de un anillo de materia, increíblemente luminoso, extendido a través de 1,4 años-luz, que envolvía los restos de la supernova. Casi todos nosotros nos quedamos estupefactos ante la existencia del anillo, excepto nuestro colega Nino Panagia, quien había pronosticado la formación de una estructura exterior peculiar.

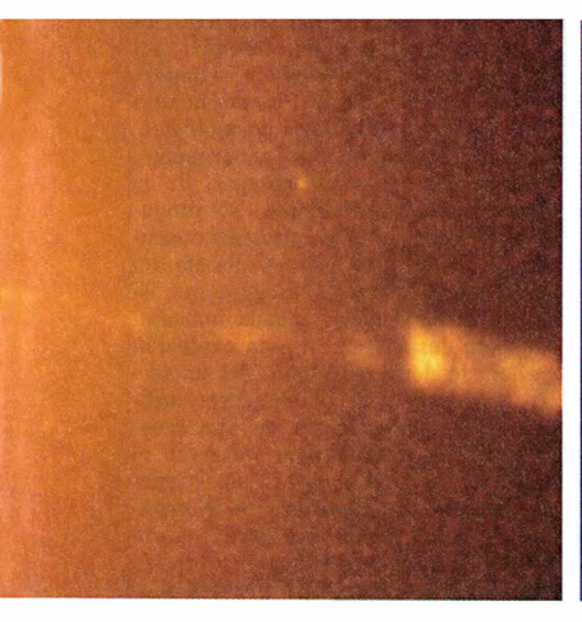
Lo que más intriga en el anillo de la supernova es que parece elíptico, en vez de circular. Su forma implica que no se trata de una concha tridimensional, como las observadas en los alrededores de multitud de nebulosas planetarias, que por efecto de la perspectiva a menudo se asemejan a anillos circulares; resulta ser, en cambio, un auténtico toro circular de materia cuya inclinación de 43 grados respecto a nuestra línea de visión le imprime una apariencia elíptica. Tal formación no pudo producirla la propia supernova, sino que más bien debe de ser una reliquia fantasmagórica de las capas externas, expulsadas por la estrella gigante roja progenitora.

Panagia sostiene que, miles de años antes de la explosión, un suave viento estelar arrastró la envoltura externa de la estrella, casi toda ella en dirección ecuatorial. Un viento posterior, más veloz, debió de comprimir el material hasta transformarlo en un anillo gaseoso, que luego sería calentado y ionizado por la radiación ultravioleta originada en la explosión de la supernova, haciéndolo brillar. El anillo debería desintegrarse dentro de algunos decenios, en cuanto sea alcanzado por los desechos de la supernova que avanza, hacia el exterior, a velocidad media de 10.000 kilometros por segundo. Mientras tanto, el *Hubble* continuará su seguimiento de la estructura proteica de los restos de SN 1987A.

Las observaciones de la supernova tomadas por el telescopio han permitido conocer con mayor precisión la distancia que nos separa de la Gran Nube de Magallanes. Las imágenes que ha obtenido muestran el tamaño angular del anillo con gran exactitud. Por otra parte, el satélite *Explorador Internacional en el Ultravioleta* estuvo controlando los instantes en que los extremos próximo y lejano del anillo comenzaron a resplandecer por primera vez; esta información, combinada con la bien conocida medida de la velocidad de la luz, aportará el diámetro real del anillo. A partir de ahí, por una simple operación de trigonometría se obtiene que la distancia a la supernova, y por tanto a la galaxia circundante, es de 169.000 años-luz. Esta estimación presenta un margen de error del 5 por ciento, que mejora en más de tres veces las mediciones anteriores, y de paso ofrece información valiosa para calibrar la escala de distancias de otros objetos cósmicos más remotos.

Por desgracia, la capacidad general del *Hubble* para medir distancias galácticas está severamente comprometida. Su defecto óptico le impide distinguir Cefeidas individuales en galaxias remotas; estas estrellas variables revisten interés especial porque su brillo fluctúa de forma irregular, con un período de variación relacionado con su luminosidad absoluta. Por esta razón, las observaciones de Cefeidas pueden proporcionar una medida inequívoca de la distancia a una galaxia. Cuando el satélite se repare en 1994, asumirá como tarea esencial el estudio de las Cefeidas.

Muchas personas equivocadamente creen que, por tener deteriorada su capacidad para captar luz, el *Hubble*





7. SUPERNOVA 1987A (*a*), tal como la ha captado el *Hubble*. (La imagen está en falso color.) Un anillo de materia de 1,4 años-luz de diámetro (*amarillo*) rodea los desechos de la supernova (*rojo*). La M 87, una galaxia elíptica gigante, exhibe un núcleo denso, de brillo insólito, y un enorme chorro de gas ionizado (*b*). Ambos rasgos denuncian la existencia de un agujero negro masivo en el centro de la galaxia, en el cual cae materia que resplandecería con intensidad antes de desaparecer. Un chorro retorcido (*c*) emana del núcleo de la galaxia 3C 66B, extendiéndose a 10.000 años-luz. La imagen ha sido procesada para sustraer de ella la galaxia. La radiación ultravioleta que se aprecia en esta imagen es emitida por electrones que atraviesan los campos magnéticos girando en espiral casi a la velocidad de la luz.

es incapaz de estudiar objetos celestes lejanos. Nada podría alejarse más de la verdad. El telescopio espacial ha realizado ya sustanciosas observaciones de objetos situados prácticamente en los límites del universo visible, y también ha permitido a los astrónomos ópticos el estudio, a un nivel de resolución nunca alcanzado, de los núcleos de galaxias situadas allende nuestro cúmulo galáctico local, consiguiendo descubrimientos numerosos, notables y muchas veces inesperados.

Uno de los primeros blancos del *Hubble* más allá de la Vía Láctea fue NGC 7457, galaxia elíptica situada a unos 40 millones de años-luz que había sido elegida como objeto de prueba aparentemente normal. Sin embargo, cuando Lauer y sus colaboradores utilizaron la cámara planetaria y de campo ancho para explorar las regiones centrales de NGC 7457, descubrieron, sorprendidos, que una fracción apreciable de la luz de la galaxia proviene de una fuente puntual, cuya extensión no supera los 10 años-luz, situada en el mismo corazón del núcleo. Las estrellas que dicha fuente alberga deben de estar apiñadas con densidad al menos 30.000 veces la de las estrellas de la vecindad galáctica del Sol, cientos de veces la densidad estelar apuntada por las predicciones teóricas. El pico de brillo central puede indicar el punto exacto en el que una vasta cantidad de materia —tal vez estrellas enteras— cae en espiral hacia un agujero negro cuya masa es millones de veces la solar. Otra posibilidad alternativa es que la región brillante sea de naturaleza no tan exótica, pero igualmente inesperada, como por ejemplo un cúmulo estelar de excepcional riqueza. Los investigadores que trabajan con los espectrógrafos del *Hubble* pronto intentarán medir la velocidad orbital del gas y las estrellas situadas en el núcleo, para así indicar la cantidad total de materia que contiene y ayudar a determinar la verdadera naturaleza del objeto central.

El telescopio también ha aportado pruebas para corroborar la posible existencia de un enorme agujero negro en el lugar donde los astrónomos esperaban encontrarlo: en la galaxia elíptica gigante M 87, situada en el cúmulo galáctico de Virgo, aproximadamente a 50 millones de años-luz. M 87 emite potentes ondas de radio y rayos X, y desde su centro emerge hacia el exterior un gigantesco chorro de gas ionizado (cuya longitud es miles de veces la de los chorros que emanan de Eta Carinae). Los astrofísicos le han dado vueltas a la posibilidad de que un agujero negro inmenso sea el motor central que impulsa semejante actividad.

Lauer, en colaboración con Sandra M. Faber, de la Universidad de California en Santa Cruz, C. Roger Lynds, adscrito a los Observatorios Nacionales de Astronomía Optica, y otros varios colegas recurrieron a la cámara planetaria y de campo ancho para zanjar la cuestión. Vieron que, lo mismo que en NGC 7457, las estrellas se apiñaban en la región central de M 87 con una densidad que centuplicaba, varias veces, la habitual de una galaxia normal. Si la densidad y el brillo excesivo del núcleo de M 87 se debiera realmente a un agujero negro, éste tendría una masa cuyo valor sería varios miles de millones de veces la del Sol.

F. Duccio Macchetto, de la Agencia Europea del Espacio, interesado en el estudio de los violentos procesos que ocurren en galaxias activas aún más distantes, recurrió a la cámara de objetos débiles para captar la radiación ultravioleta procedente de la galaxia 3C 66B, ubicada a 270 millones de años-luz de la Tierra. El *Hubble* reveló los detalles del extraordinario chorro de plasma incandescente que emana de 3C 66B; este chorro se extiende hasta 10.000 años-luz desde el centro de la galaxia, longitud doble de la que presenta la protuberancia gaseosa de M 87.

Macchetto utilizó el tratamiento de imagen por ordenador para realzar el chorro y hacerlo más visible, sustrayendo la imagen correspondiente a la galaxia anfitriona; ello es factible porque el chorro brilla más en las longitudes de onda del ultravioleta, en las cuales la galaxia se muestra más tenue. Seguidamente procedió, junto con sus colaboradores, a corregir la aberración esférica del *Hubble*, pudiendo así ver por un instante filamentos gaseosos, nudos brillantes y raros dobleces en el material del chorro, detalles jamás vistos a través de un telescopio óptico. El chorro presenta una extraña estructura trenzada, consistente en dos hebras de plasma separadas a una distancia de 50 años-luz.

Las características observadas se corresponden estrechamente con las identificadas por medio de su emisión radioeléctrica. Sin embargo, la radiación emitida por el chorro en el espectro visible es provocada por electrones de alta velocidad, que pierden energía con mucha más rapidez que los electrones, relativamente perezosos, que producen la emisión

en radio. Los electrones más energéticos y emisores de luz habitan en regiones de perturbación reciente. En comparación con los estudios de radioastronomía, los datos del *Hubble* muestran con mayor detalle el comportamiento reciente de las potentes fuerzas que produjeron ese inmenso chorro.

Mediante ulteriores observaciones que realizará el telescopio en galaxias activas y en sus parientes más energéticos, los cuásares y las galaxias Seyfert, se conocerá la manera de desplazarse la energía hacia el exterior, siguiendo los chorros. Los estudios del *Hubble* también ayudarán a definir el papel desempeñado por los campos magnéticos en la canalización de materia —sobre todo electrones, que se mueven prácticamente a la velocidad de la luz— desde los núcleos de las galaxias hasta el espacio intergaláctico. Un conocimiento más profundo de las galaxias activas permitirá determinar si los agujeros negros pueden realmente explicar la prodigiosa producción energética de estas galaxias, o si los astrónomos necesitan acudir a nuevas y tal vez más exóticas teorías para interpretar esas centrales eléctricas del firmamento.

El examen de los datos del telescopio contribuye a verificar y refinar la teoría de la gran explosión ("big bang"), que constituye el cimiento de la cosmología moderna. La teoría sostiene que el universo actual, incluyendo toda la materia y todo el espacio, surgió de la explosión de un punto único, hace aproximadamente 15.000 millones de años. Si esta hipótesis es correcta, la mayoría del helio que hoy existe fue generada en los momentos siguientes al nacimiento del universo. Desde entonces, no obstante, se han sintetizado cantidades adicionales de helio, por fusión nuclear, en el interior de las estrellas.

Margaret E. Burbidge, de la Universidad de California en San Diego, se ha esforzado por medir la cantidad de helio existente en los alrededores del cuásar UM 675, situado a unos 12.000 millones de años-luz de la Tierra. Debido a tan inmensa distancia, los humanos ven ahora este cuásar tal y como era hace 12.000 millones de años, cuando el universo tenía sólo una quinta parte de su edad actual. La teoría de la gran explosión predice que UM 675 debería contener prácticamente la misma cantidad de helio que los objetos modernos y cercanos. Si la teoría fuera errónea, el contenido de helio de UM 675 sería casi nulo. El espectrógrafo de objetos débiles del *Hubble* mostró una clara signatura de helio, otorgando así credibilidad a la mencionada hipótesis cosmológica.

En el marco de otro experimento, Jeffrey Linsky y sus colegas, de la Universidad de Colorado, se propusieron medir la concentración cósmica de deuterio, un isótopo pesado del hidrógeno. La teoría asegura que la cantidad de deuterio creada inmediatamente después de la gran explosión refleja la densidad global del universo. Linsky y sus colaboradores utilizaron el espectrógrafo de alta resolución del *Hubble* para observar el espectro de la estrella brillante Capella, distante 41 años-luz, en la constelación de Auriga. La forma exacta de dicho espectro indica la cantidad de radiación absorbida por los átomos de hidrógeno y deuterio, entre Capella y la Tierra.

El análisis del espectro, llevado a cabo por Linsky, sugiere que el universo contiene tan sólo una décima parte de la cantidad de materia normal necesaria para frenar la presente expansión. Para bastantes cosmólogos, ciertas partículas exóticas, todavía por descubrir, podrían dar cuenta de buena parte de la masa total del universo. De no ser así, los resultados del *Hubble* implicarían que el universo es infinito y que su expansión continuará eternamente.

Pese a una plétora de deficiencias ópticas y mecánicas, ese telescopio está demostrando su poderío en la investigación científica. Los resultados obtenidos en los dos primeros años de vida nos ofrecen sólo un mero anticipo de lo que será capaz si pone a punto su óptica en 1994. Tras siglos de estar condenados a contemplar cómo centellean y bailan las estrellas en la turbulenta atmósfera de la Tierra, los astrónomos ópticos han entrado, finalmente, en una nueva era de investigación espacial. Personalmente confío en que el telescopio espacial *Hubble* sea sólo el primer paso en este prometedor camino.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE FIRST YEAR OF HUBBLE SPACE TELESCOPE OBSERVATIONS. Actas de una sesión científica celebrada en el Instituto de Investigación del Telescopio Espacial, 14-16 de mayo, 1991. Dirigido por A. L. Kinney y J. C. Blades. Space Telescope Science Institute; 1991.

THE HUBBLE SPACE TELESCOPE. Dos números especiales de *Astrophysical Journal Letters*, vol. 369, 10 de marzo 1991, y vol. 377, 10 de agosto de 1991.

Ciencia y empresa

Videojuegos

Un lago fantástico

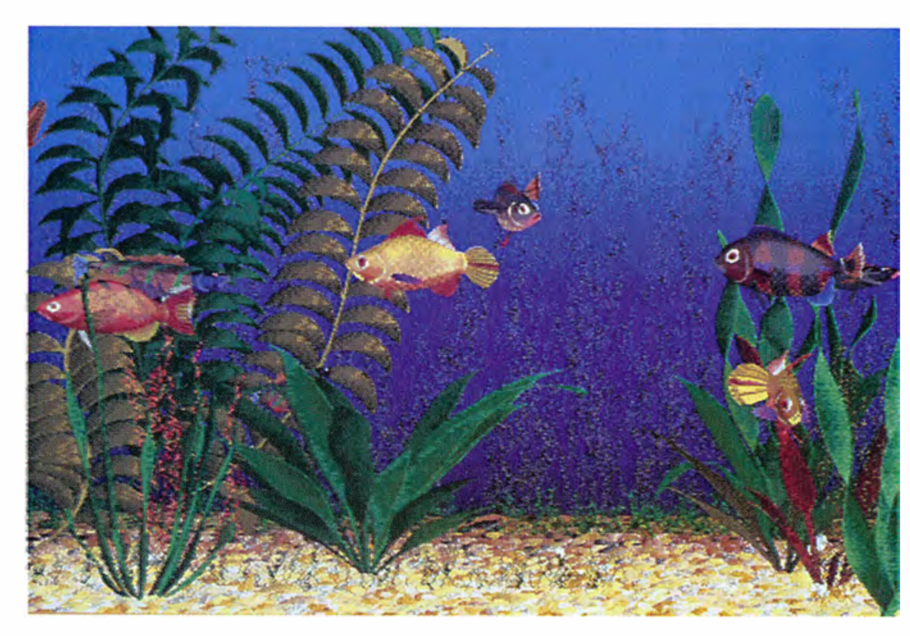
Vladimir I. Pokhilko se pasa los días pensando en los peces. No le guía la gula, ni tampoco un afán ecologista de salvación de especies amenazadas. Lo suyo es la ictiología virtual. "Los hay de una belleza extraordinaria", musita mientras cruzan juguetonamente la pantalla del ordenador esas quimeras engendradas por manipulación algorítmica.

Pokhilko representa, en Occidente, a la empresa AnimaTek, una compañía en auge con sede en Moscú. Con otros compañeros más, flacos y melenudos como él, se ha dedicado durante tres años a la realización de un sueño común: crear programas que generen imágenes de peces polícromos y galanos.

Se han asociado con la empresa norteamericana Maxis para sacarle el máximo rendimiento comercial a El-Fish, un juego de ordenador que permite idear nuevos tipos de peces mediante el "cruce" electrónico de imágenes. Los usuarios dotarán a los peces de características que los capaciten para sobrevivir bajo determinadas condiciones ambientales. A diferencia de los juegos de ordenador cuyo objetivo es acertar contra los invasores o esquivar obstáculos, El-Fish es un juego pacifista que resulta de algoritmos refinadísimos.

Siete años atrás, ni Pokhilko ni ninguno de sus compatriotas se imaginaban que algún día iban a convertirse en empresarios. "El-Fish es un hijo de la *perestroika*", declara. Los ordenadores habían conocido su presentación en sociedad en el recinto restringido de las unidades académicas de investigación; desde muy pronto, los expertos de disciplinas muy dispares no habían dejado de trastear con las máquinas para adaptarlas a sus propios campos de trabajo. Psicólogo de profesión, a Pokhilko le intrigaba la posibilidad de usar ordenadores para modelar —y tomar el pelo a— la inteligencia humana. Comenzó a idear juegos de ordenador.

En 1989, poco después de ingresar en el claustro docente de la Universidad de Moscú, Pokhilko conoció a Alexei Pajitnov, autor de Tetris, el primer juego de ordenador ruso que cruzó la frontera y se transformó en un éxito comercial en Occidente. Empezaron a darle vueltas a distintos proyectos, entre ellos la generación automática de formas artificiales de vida. Aunque no estaban familiarizados con los trabajos norteamericanos sobre algoritmos genéticos, el desarrollo de programas que pudieran selectivamente "cruzar", o recombinar, imágenes para generar nuevas versiones parecía un prometedor enfoque. Aunque su intención primera era reproducir y diseñar flores, se inclinaron por los peces, ya que se trataba de animales móviles, bellos y populares.



Peces generados por ordenador eclosionan de algoritmos construidos por la compañía rusa AnimaTek; constituyen el núcleo de un moderno juguete de ordenador. Imagen cortesía de Maxis.

En la primavera de 1989, los rusos recibieron el apoyo entusiasta de Bullet-Proof Software, una pequeña empresa de Redmond, en Washington. Con su respaldo financiero, Pokhilko y Pajitnov adquirieron equipo informático y programas, contrataron a expertos moscovitas —en su mayoría físicos teóricos y experimentales— y se lanzaron al campo endiablado del modelado algorítmico.

Los primeros modelos geométricos alcanzaron una flexibilidad inusitada y se vieron curiosas imágenes, aunque no peces. Tras agregarles 800 parámetros —el código genético que da cuenta de la morfología general de los peces—, terminaron los expertos por garantizar que el sistema solamente produciría figuras pisciformes.

El obligar a los peces a comportarse como tales exigió nuevas habilidades. Los programadores los dotaron de sensibilidad a la temperatura del agua y a la profundidad. (Idearon también ambientes lacustres y familias de algas para ofrecerles un entorno familiar.) A fin de que pudieran nadar, se les ajustaron los programas para esbozar 220 figuras representando peces en varios ángulos y posiciones. De igual manera que los dibujos adquieren vida cuando el artista baraja rápida y sucesivamente muchas versiones, los peces de El-Fish vagabundean por la pantalla cuando esas figuras aparecen en diferentes órdenes.

El-Fish comienza a emerger en foros muy dispares, desde congresos científicos hasta ferias comerciales dedicadas a los juegos de ordenador. En las sesiones de exhibición, Pokhilko acostumbra escoger un menú de varias docenas de peces y elige dos para funciones progenitoras. En menos de 30 segundos, nacerá el primer pimpollo en la pantalla; no tardarán en seguirle un montón de hermanos. Los confina luego en un lago virtual, donde medran algas y peces, mientras sigue con atención la supervivencia del híbrido. Si la historia no le place, opta por conservar los peces en un "museo" (que es un entorno benigno).

Maquinaciones metastásicas

Factores de coagulación, agentes de cáncer

Allí sucedía algo raro. Los bioquímicos de los laboratorios Abbott ensayaban vías de perfeccionamiento de cierto fármaco para el tratamiento de los ataques cardíacos. Agregaban fragmentos de uroquinasa a las líneas celulares cultivadas que sospechaban podrían portar receptores de la misma. Para su sorpresa, esa enzima trombolítica redobló la capacidad de las células cancerosas de próstata, mama y colon para invadir los tejidos normales. Ante semejante observación, la compañía ha puesto la mirada en la prevención de metástasis y su propagación hasta puntos distantes del organismo.

Las piezas del rompecabezas comienzan a encajar. La uroquinasa desencadena una frenética actividad contra los coágulos que se forman en las heridas. El proceso incluye la conversión de plasminógeno (molécula precursora inactiva) en plasmina activa, compuesto que degrada la fibrina y puede también lisar otras proteínas. Según parece, en ciertos cánceres, la plasmina se vuelve contra el colágeno y la laminina, ambos componentes esenciales de la membrana que tapiza las paredes de los vasos sanguíneos; la uroquinasa se abriría paso, eso se sospecha, entre las células de la pared y, luego, las células cancerosas ocuparían el hueco para alcanzar desde allí el torrente circulatorio.

Los receptores de la superficie celular desempeñarían, en opinión de alguno, una función decisiva en la eficacia de la acción de la uroquinasa. Cuando Douglas Boyd, del Instituto Oncológico M. S. Anderson en Houston, insertó el gen de la enzima en líneas celulares de cáncer de colon pertrechados con escasos receptores para la molécula, las células produjeron una mayor cantidad del compuesto, pero no intensificaron su poder metastásico.

Los investigadores de Abbott admiten la verosimilitud de esa hipótesis, apoyados en que ciertas líneas de células malignas poseen muchísimos receptores para la uroquinasa. El recuento de los mismos en el momento de la biopsia podría ayudar a estimar la capacidad de un cáncer para la metástasis y orientar a los médicos en la terapia aconsejable. De manera análoga, los fármacos que bloqueasen esos receptores en las membranas podrían retardar la metástasis.

No todos se embelesan con los receptores. Richard Shultz, de la Universidad jesuítica de Loyola, defiende que la uroquinasa segregada por las células —y no la que ellas captan— es la que puede producir metástasis. La introducción del gen humano de la uroquinasa en células cancerosas de ratón elevó espectacularmente su capacidad metastásica, aun cuando la forma humana no se enlaza a los receptores de ratón. Shultz cree que las células cancerosas segregan uroquinasa para degradar las matrices extracelulares, y no para su propio uso interno.

Ciertos trabajos llegan a la conclusión según la cual la capacidad trombolítica de la uroquinasa sería marginal de su función primaria, actuar de factor de crecimiento. La parte de la molécula que se enlaza al receptor muestra una estrecha semejanza con ciertos dominios de las proteínas de los que se sabe estimulan el crecimiento de las células, observa David Hart; este investigador de la Universidad de Calgary sospecha que la producción de uroquinasa podría deberse a los oncogenes, que emplean la enzima para labores de multiplicación. Se ha demostrado que otros oncogenes estimulan diferentes enzimas que fragmentan las proteínas.

Biología sensible

Desde los años cincuenta se viene pugnando por maridar biología y electrónica con el vínculo de los biosensores. La boda parece próxima tras el avance convergente que se ha registrado en los compuestos biológicamente activos, membranas de refinamiento sutil y circuitos integrados.

Llevan la delantera Molecular Devices, i-Stat, Idetek, Biocircuits y alguna empresa más. Los dispositivos que están lanzando al mercado permitirán a los médicos realizar pruebas de pretratamiento de quimioterapia en las propias células cancerosas de un paciente o vigilar los niveles de fármacos en la sangre. Los fabricantes esperan que los biosensores aceleren la investigación farmacéutica y ayuden a reemplazar las pruebas en animales. En el sector de la industria se espera que controlen la cuantía de productos secundarios y contaminantes lesivos para el ambiente.

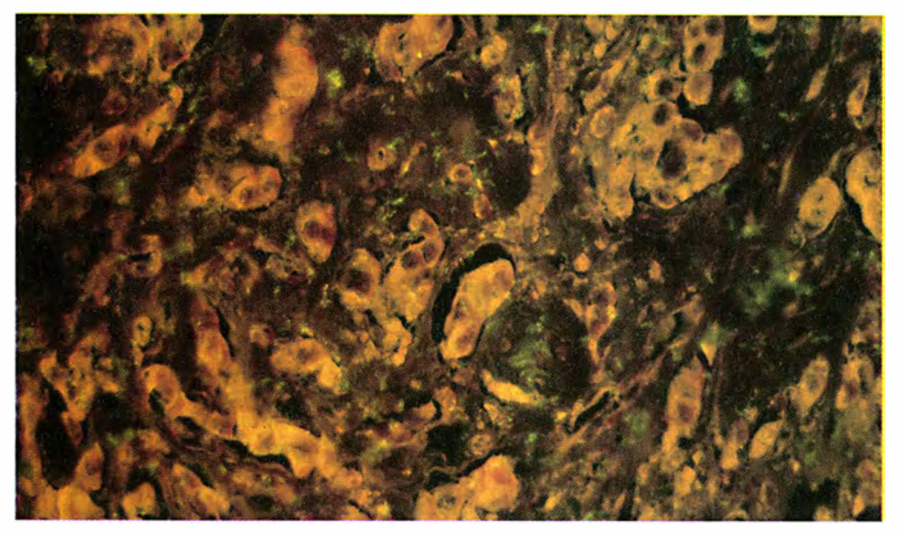
No es empresa fácil conjugar técnicas de semiconductores con las propias de la biología molecular, observa Harden M. McConnell, fundador de Molecular Devices de Menlo Park y director del departamento de química de la Universidad de Stanford. Molecular Devices introdujo recientemente un microfisiómetro citosensor que vigila la tasa metabólica celular. A través de la detección de las variaciones de la acidez de los productos de desecho de las células, podemos determinar los efectos de fármacos o toxinas en tiempo real.

El principio de la medición del pH celular es muy simple, asegura McConnell, afirmación que no vale para la construcción del sensor. La versión actual del aparato controla ocho muestras a la vez. Las pastillas de silicio se disponen a modo de quemadores en un hornillo: soportan encima un pequeño recipiente de masa celular. A través del cuenco pasa una solución de nutrientes; periódicamente se corta la corriente para dejar que los materiales de desecho de las células se acumulen en la solución. A medida que se van formando, los iones cruzan una membrana permeable que tapiza el fondo del recipiente y transportan su carga a la pastilla subyacente.

De acuerdo con la empresa, el citosensor está llamado a convertirse en herramienta muy útil para el neurofarmacólogo y el inmunólogo, ya que les permite en 30 segundos conocer los cambios operados en el metabolismo celular, intervalo suficiente para apreciar la incidencia de los neurotransmisores y otras subtancias de acción rápida.

La velocidad de procesado es la propiedad que caracteriza al biosensor analizador de sangre que comercializa i-Stat de Cambridge. Los médicos acuden a los laboratorios clínicos para procesar las muestras de sangre "stat" (que significa a la mayor brevedad posible). El aparato que vende la compañía, de uso en la cabecera del enfermo, se basa en algoritmos patentados y un microprocesador para predecir exactamente lo que los electrodos habrán de corroborar. En 90 segundos, el dispositivo presenta los niveles de seis componentes críticos de la sangre, tales como la glucosa, el sodio y el potasio.

En el mercado del diagnóstico clínico ha puesto también sus esperanzas Biocircuits, empresa con sede en la californiana Burlingame. Se propone introducir hacia mediados de 1993 un biosensor para detectar las disfunciones tiroideas y, con el tiempo, otros trastornos metabólicos. Cartuchos desechables que se introducen en una lectora de sobremesa contendrán porciones de una membrana fluorescente. Cuando la substancia objetivo se suelda a la membrana, se atenúa la fluorescencia y el cambio se puede medir mediante un sencillo fotodiodo.



Las células de cáncer de mama resplandecen con una fluorescencia amarilla, indicando la presencia de la enzima uroquinasa, disolvente de trombos. Foto: Leo Zacharski.

El estudio que promete arrojar definitiva luz lo está realizando Leo R. Zacharski, hematólogo del Hospital de Veteranos de White River Junction. Con sus colaboradores del Colegio Universitario de Darmouth está clasificando varios tipos de cáncer por su aptitud para expresar la uroquinasa y otros factores coagulantes de la sangre. La heterogeneidad, reconoce, es la nota dominante. El cáncer de próstata, el de mama y el de colon producen uroquinasa, pero dan señales de la existencia de factores favorecedores de trombos en las células del tumor. Por contra, el cáncer de riñón y el melanoma maligno carecen de uroquinasa y muestran frecuentemente la presencia de factores que promueven la formación de trombos en la zona adyacente al tumor.

Nos revelan los primeros resultados que la administración de uroquinasa a los pacientes con cánceres promotores de trombos (así, el de pulmón de pequeñas células) hace a los tumores más sensibles a la acción de la quimioterapia y al propio sistema inmune del paciente, lo que conduce a una regresión más frecuente.

Los fármacos de Abbott que bloquean la uroquinasa no han salido todavía del laboratorio de ensayos. Habrá luego que pasar por las pruebas clínicas en seres humanos, si bien los modelos experimentales han corroborado que esos bloqueadores frenan, al propio tiempo, el crecimiento del tumor y su irremediable difusión. Queda una objeción seria: ¿qué ocurrirá con la suspensión, siquiera temporal, de una enzima vital para las células sanas? Las células del sistema inmune fían en la uroquinasa para llegar a los lugares de infección.

Sin torcer la mirada ante ese problema, la perspectiva de un tratamiento ventana, quizás en el momento de la cirugía, cuando las células cancerosas se hallan dispersas, alegra el panorama de muchos clínicos: privar a las células cancerosas de algo que precisan es condenarlas a muerte, lo mismo que si se las hubiera envenenado con quimioterapia. Sería, sin duda, una manera natural de matar al cáncer.

Industria cinematográfica

Alquimia óptica

Llegaremos a ver cosas cuya realidad nuestros ojos se resistirán a aceptar. Policías que se transforman en arrestados, brazos mudados en espadas; y al revés: automóviles que atacan a leopardos y personas de agua que bailan. Hablamos de un manojo de trucos visuales que ha hecho posible el "morfo", una técnica de gráficos por ordenador. En alusión al término de donde se ha extraído ("metamorfosis"), "morfo" constituye un método para desvanecer suavemente entre sí dos imágenes en película o videocinta, de modo que una de ellas parece convertirse en la otra.



Las técnicas de morfo como las empleadas en Terminator 2 funden imágenes produciendo deslumbrantes efectos. Foto: ILM.

Los avezados en el mundo de la imagen dicen que el morfo ha alterado para siempre lo que el público espera de los medios visuales. Hizo su aparición comercial en 1987, en la película "Willow", como un recurso más entre los efectos especiales. Su director Ron Howard necesitaba que una hechicera se transformase en distintas especies de animales. Acudió entonces a una empresa californiana experta en trucos cinematógraficos.

La técnica subyacente la había empleado unos años antes, aunque de forma rudimentaria, Tom Brigham, del Instituto de Tecnología de Nueva York. Smythe incorporó rejillas en la pantalla para simplificar la descomposición de las imágenes. Del mosaico resultante, podíase luego poner o quitar piezas, encajar un ojo con otro, nariz con una nariz, etcétera, en un proceso de deformación de la urdimbre; se trata de un fenómeno de reconstrucción, donde existen unas líneas de referencia en dirección aproximadamente horizontal y otras en dirección aproximadamente vertical. El adverbio "aproximadamente" tiene su busilis: las líneas pueden cambiar de dirección y rodear imágenes en cada una de las dos imágenes, en tanto no se superpongan ni se toquen. Las muestras de píxeles se toman a lo largo de esas curvas en la imagen fuente (la de partida, tal como se tomó) y se transfieren a una imagen destino. Al cambiar la velocidad de toma de muestra se produce cierto estiramiento. En una transformación que dura dos segundos puede invertirse hasta dos semanas de trabajo.

En el mundillo de la manipulación de la imagen las ideas brotan con efervescencia. Una de las técnicas más recientes se niega a especificar puntillosamente el cambio de la ima-

gen y deja que sea el artista quien lo especifique y el ordenador el que decore la escena. En dicha técnica, las líneas añadidas por el ordenador están rodeadas por un campo de influencia que automáticamente deforma la imagen en una cuantía prescrita. Por ejemplo, el dibujo de líneas alrededor de la silueta de una cabeza arrastra con ellas el borde del pelo sin realizar ningún trabajo adicional entre la frente y el cabello.

El enfoque ha merecido los mayores elogios, gracias, sobre todo, a la libertad de que goza el artista y a que se presta a secuencias mórficas dinámicas. La nueva técnica ha entrado con paso firme en el dominio de los videomusicales. Probablemente, el mayor mercado de morfos obtenidos mediante cualquier técnica será la manipulación invisible de imágenes por lo demás reales. Los morfos podrían servir a modo de tiritas quirúrgicas para unir los mejores trozos de distintas imágenes de un actor o simplemente eliminar de la imagen una porción no deseada.

Industria cárnica

Buey puro

¿Por qué comemos hoy menos carne de buey que diez años atrás? En parte porque la calidad de la carne de buey no compensa lo elevado de su precio: las porciones tiernas, tipo bistec, de cocción rápida, son carísimas porque constituyen tan sólo del 20 al 30 por ciento de la parte carnosa de las canales. Y ¿qué hacer con el resto, que una larga cocción apenas ablandaría?

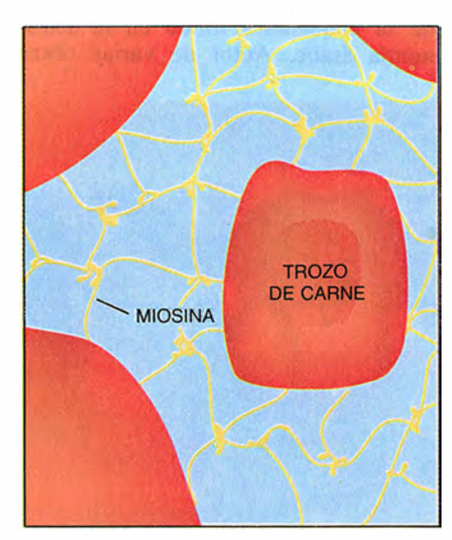
La industria cárnica propone una solución con los productos reelaborados (hamburguesas y otras formas más estilizadas): el picado, el desmenuzamiento o la más reciente técnica del laminado (la obtención de lonchas muy delgadas cortando la carne previamente congelada) destruyen los retículos de colágeno que dan su dureza a la mayoría de los músculos del cuarto delantero de los bovinos. A la desestructuración le ha de seguir una nueva puesta en forma, que depende de la habilidad del carnicero.

Ahora bien, los cocineros saben que la cocción de la clara del huevo forma una gel que puede aprisionar partículas dispersas: es el principio en que se basan los pasteles de pescado, las jaleas y los flanes. Buscando cómo devolver su cohesión a las carnes desestructuradas, los industriales, inspirándose en ese ejemplo, han utilizado diferentes auxiliares texturales de alto poder aglutinante, como el alginato de sodio, extracto de algas, pero éste, lo mismo que otros compuestos de origen láctico o vegetal, no permite denominar "buey puro" a los condicionamientos.

Muchos investigadores tratan, pues, de extraer estos auxiliares de la misma carne de buey, concretamente de la que queda pegada a los huesos tras las operaciones industriales del deshuese y del tablajeo. En el coloquio sobre *Sciences des aliments*, celebrado en Quimper, Joseph Culioli, Ahmed Ouali y sus equipos del Centro INRA de Clermont-Ferrand-Theix han mostrado cómo, al menos en el laboratorio, puede convertirse la miosina en eficaz agente de aglutinación.

La miosina es una proteína abundante (20 por ciento de la materia seca) en el músculo estriado, que la industria cárnica sabe hoy recuperar mecánicamente. Las proteínas de la masa muscular son de tres categorías: proteínas miofibrilares, proteínas sarcoplasmáticas y proteínas del tejido conjuntivo. La miosina es la principal proteína del sistema miofibrilar, donde se halla en forma de filamentos espesos. En presencia de iones calcio y de ATP (la "energía" de las células vivas), estos filamentos se asocian a otros filamentos más finos, compuestos principalmente de actina, y entonces se produce la contracción muscular, al deslizarse los filamentos de miosina con respecto a los de actina.

Como las propiedades de las proteínas dependen de su secuencia en aminoácidos, no todas tienen el mismo poder gelificante. Siendo el mayor el de la miosina, los biólogos de Theix han explorado la gelificación térmica de la miosina, que interviene igualmente en la preparación del jamón cocido, de los *pâtés*, de los embutidos, etc...



Carne manipulada y gel de miosina.

Para determinar las condiciones que darían el gel más firme, han mejorado las condiciones de extracción de las proteínas musculares y han comparado el efecto de las miosinas de diversas procedencias (de músculos blancos rápidos, que funcionan anaeróbicamente, y de músculos rojos lentos, que funcionan en presencia de oxígeno, separados en diferentes tiempos tras la muerte de los animales). Primero la miosina se extrajo de músculos de conejos, pues estos músculos, ya rojos ya blancos, son de un tipo puro.

Para extraer las miosinas se trituran los músculos, y la masa resultante se introduce después en soluciones salinas de distintas concentraciones. La gelificación térmica de las suspensiones de proteínas era estudiada con ayuda de un reómetro, aparato que determina a la vez las características viscosas y elásticas de los geles.

Estas medidas han hecho ver que la gelificación térmica se efectúa incluso en una concentración baja de miosina (del 0,1 al 0,5 por ciento) y que la firmeza de los geles obtenidos aumenta mucho con la concentración de esa proteína. La gelificación de la miosina pura comienza a 40 ºC, y la compacidad de los geles va aumentando al subir la temperatura hasta los 80 ºC; es tanto mayor cuanto más puras son las soluciones de miosinas. Como ocurre con otros geles, su compacidad depende de la concentración salina y de la acidez del medio. Las miosinas que forman los geles más firmes son las de los músculos blancos rápidos, con pH próximo a 5,8 y en presencia de sales, que favorecen la disociación de las cadenas macromoleculares.

Ulteriores análisis han confirmado la importancia de la miosina bovina para la reestructuración de la carne. Los geles son más compactos cuando se extrae la miosina inmediatamente después de sacrificar la res (antes de que ésta se ponga rígida, fase que corresponderá al establecimiento de uniones irreversibles entre la actina y la miosina). El pirofosfato de sodio (una molécula de la familia del ATP) disocia los complejos actina-miosina y, con ello, permite obtener geles más compactos. La incorporación de estos extractos de miosina a carnes partidas en finas lonchas ha permitido aumentar la cohesión de los productos limitando a la vez las pérdidas de jugo (que queda atrapado en el gel).

Juegos matemáticos

Ian Stewart

El misterio del camello fantasma

El patriarca beduino Mustafá ibn Mokta había defendido con éxito a su pequeña tribu del ataque de un fiero clan rival, gracias sean dadas a Alá. Pero Mustafá había sufrido en el combate heridas mortales y caído sin conocimiento. Alí el barbero, amigo suyo de toda la vida, cerró sus heridas y le trasladó penosamente hasta su campamento a través de varios kilómetros del desierto septentrional de Arabia.

Hallábase Mustafá rodeado de sus esposas, hijos, hijas y nietos cuando recobró el conocimiento. "¡Aún sigo con vida, Alá sea loado! ¡He de volver a la batalla!" A duras penas lograba Mustafá alzar un poco la cabeza.

"¡Descansa ahora, gran Mokta!", le imploró su primera esposa, ofreciéndole agua en un cuenco de piel de cabra. "¡Ya has conducido a tu tribu a la victoria! ¿Cómo te encuentras?"

"Como si me hubiera pisoteado un millar de camellos", rezongó Mustafá. "¿Quién ha sido mi salvador?"

"Alí el barbero ha sido", respondióle su primera esposa.

"Hacedle venir enseguida", ordenó Mustafá. Su hijo mayor salió a buscar a Alí y la familia se dispersó, para que Mustafá reposase en su tienda sin ser molestado.

Alí hallábase ocupado, como de costumbre, en rapar las barbas de los beduinos que no se afeitaban a sí mismos, preguntándose quién le recortaría la suya. Al saber que Mustafá había recobrado el conocimiento, salió corriendo a visitar a su amigo.

Alí entró en la tienda de Mustafá. "Salaam aleikum. Tienes mucho mejor aspecto."

"Aleikum salaam. Gracias a ti y a la bondad de Alá he tenido ocasión de ver otra vez a mi familia. Pero mi cuerpo está roto y sin arreglo, y temo que habré de morir pronto." Acalló con el gesto las protestas de su amigo. "No tienes por qué fingir. Quiero consultar contigo el reparto de mis riquezas entre mis tres hijos. Los quiero mucho, mas veo que son algo tardos de ingenio. Estoy firmemente convencido de que antes de heredar nada tendrían que demostrar su capacidad intelectual."

Alí parecía desconcertado. "Temo no entenderte, Mustafá."

"Entre mis pertenencias se cuenta un antiguo tratado de aritmética que, según se dice, ha venido pasando de padres a hijos desde el mismísimo al-Khuarizmi en persona." (Mustafá supone que Alí sabe bien quién fue Muhammad ibn Musa al-Khuarizmi, matemático del siglo IX de nuestra era, a quien debemos la introducción de la matemática hindú en la astronomía árabe. Autor de varias obras se le supone uno de los creadores del álgebra. La voz "algoritmo" es justamente la latinización de su nombre.)

Mustafá prosiguió. "Como te acabo de decir, en uno de sus libros se habla de un rico mercader que poseía 17 camellos. Dejó escrito en su testamento que, a su muerte, el mayor de sus tres hijos habría de recibir la mitad de la manada; que para el segundo hijo habría de ser la segunda parte, y para el hijo menor, la novena parte."

"Me acuerdo de esa paradoja. Evidentemente, es absurdo ofrecer al hijo mayor ocho camellos y medio."

"Y peor aún, uno y ocho novenos al benjamín. Existe, empero, una ingeniosa solución de este rompecabezas."

"Sí, ya recuerdo. Un hombre sabio aporta un camello extra de su propiedad, elevando el total a 18. El hijo mayor se queda con la mitad de este número, o sea, con nueve camellos. El segundo toma la tercera parte, o sea, seis, y el pequeño recibe una novena parte, es decir, dos. Estos números hacen un total de 17, tras lo cual el sabio se marcha con su propio camello y todos quedan satisfechos."

"Por lo menos, todo el mundo se siente así. La faceta psicológica del problema es casi tan fascinante como su aspecto matemático."

"Pero Mustafá, tú tienes más de 17 camellos."

"En efecto, Alá me ha bendecido con 39. Además, juré a mi padre en

1. TRES HIJOS comparten una herencia de siete camellos. El primero reclama la mitad del rebaño, el segundo exige uno de cada cuatro, y el tercero, la octava parte. ¿Recibirán cada uno su parte sin desjarretar un camello?



su lecho de muerte que jamás vendería ninguno. ¿Te he contado su aventura con las 40 "ifrits" hembras? ¡Ya veo que sí!... Pero... ¿qué estaba diciendo? ¡Ah, sí, que no es posible reducir el número a 17! Desde luego, no habría dificultad en comprar unos cuantos camellos más en caso necesario. La cuestión que no atino a resolver es la de si alguna otra colección de números permitiría un problema parecido."

"Siempre podríamos multiplicar por tres las cantidades", respondió Alí. "Se empieza con 51 camellos y la misma descomposición en fracciones."

Mustafá volvió a asentir con la cabeza, lo que le arrancó una mueca de dolor. "Ya he pensado en ello, Alí. Pero entonces el sabio tendría que aportar tres camellos. Es una solución poco elegante."

Alí se acarició la barba. "Así pues, la cuestión consiste en saber qué otros números de camellos se comportarán de esta curiosa manera."

"Pues sí. Había pensado asignarle a cada hijo una fracción apropiada del total, que permitiera la introducción y posterior retirada de un camello extra, exactamente."

Alí se echó hacia atrás y sonrió. "Los números, Mustafá, siempre han sido mi fuerte. Me pregunto...". Dejó perder la mirada en el espacio durante unos segundos. "Por la gracia de Alá, tal vez haya una forma. Pero primero hemos de comprender cómo funciona el truco original."

Mustafá se rascó perplejo el cuero cabelludo. "Confieso que me encuentro desorientado. El camello crucial aparece y desaparece como el genio de una lámpara con mecha defectuosa."

"Ha de ser alguna peculiaridad de las fracciones concretas utilizadas", respondió Alí. "Por ejemplo, de haber sido doce los camellos, y debiendo los hijos recibir la mitad, la tercera y la sexta partes, el mayor se quedaría con seis, el mediano con cuatro y el benjamín con dos, y no haría falta ningún camello auxiliar... ¡Ajá! Creo ver un rayo de luz. No es posible que las tres fracciones sumen la unidad, pues entonces el truco no podría funcionar: todos los camellos quedarían repartidos y no sobraría ninguno. Vamos a ver, ¿cuánto suman $^1/_2$, $^1/_3$ y $^1/_9$?

"Pues... son $^{17}/_{18}$", dijo Mustafá. "¡Claro! Los hijos sólo heredan $^{17}/_{18}$ del total de camellos. Si el total es 17, no podrán dividir el rebaño en unidades enteras; en cambio, con 18, cada hijo se lleva un número entero de camellos y sobra un camello. De repente le sobrevino un pensamiento. "Realmente, no era un hombre tan sabio, ¿verdad? Jamás le indicó a nadie que las fracciones no sumaban la unidad."

"En esa omisión reside su sabiduría más profunda", opuso Alí. "El truco funciona porque la suma de las tres fracciones asignadas a los hijos es una fracción cuyo denominador es mayor en una unidad que su numerador", explicó Alí. "En este caso, el numerador es 17 y el denominador es 18". Se sonrió de oreja a oreja. "Hay muchas fracciones así. Son de la forma $^{(d-1)}/_d$, siendo d un entero cualquiera... ¡Ya lo tengo! Tú tienes 39 camellos, ¿no es así?"

"De acuerdo."

"Lo único que necesitamos es elegir fracciones que sumen $^{39}/_{40}$", dijo Alí. "Cada fracción debería ser una parte de un total. Una tercera parte, por ejemplo, o una dieciseisava... Algo así. Pero no "nueve cuarentavos".

"Ya veo. Lo que tú quieres es que los numeradores sean iguales a 1".

"Exactamente."

"En pocas palabras, se necesita una solución con números enteros de la ecuación $^1/_a + ^1/_b + ^1/_c = ^{(d-1)}/_d$. O sea, hay que expresar el número $^{(d-1)}/_d$ como suma de tres recíprocos o inversos. Los egipcios solían expresar fracciones mediante sumas de recíprocos; por eso, la suma de $^1/_a$, $^1/_b$ y $^1/_c$ se conoce por trinomio de fracciones egipcias.

"He hallado una manera de simplificar tu ecuación", dijo el patriarca, y escribió la siguiente:

$$^1/_a + ^1/_b + ^1/_c + ^1/_d = 1.$$

Alí, encantado, se palmoteó el muslo. "Por lo tanto, si a es 2, b es 3 y c es 9, resultará que d tiene que ser 18, pues $^1/_2 + ^1/_3 + ^1/_9 + ^1/_{18} =$ 1. Y ahora, lo que nos falta hacer es hallar algunas otras soluciones de nuestra ecuación cuatrinomia en fracciones egipcias. Es decir, hallar cuatro números cuyos recíprocos sumen 1." Reflexionó un momento. "Un acuerdo recíproco, por así decirlo."

El ceño de Mustafá fruncióse un instante. "Se me ocurre, desde luego, otra solución: $^1/_4 + ^1/_4 + ^1/_4 + ^1/_4 = 1$. Pero, ¿qué podemos hacer ahora?"

"Vamos a hallar todas las posibles soluciones de tu ecuación." Alí echó mano de una hoja de papel. "Es cuestión delicada, porque estamos tratando con lo que los matemáticos llaman una ecuación diofántica, o sea, una ecuación cuyas soluciones han de ser números enteros. Tales ecuaciones fueron analizadas por Diofanto de Alejandría hacia el siglo III."

Mustafá se revolvió penosamente en su lecho, queriendo aliviar sus maltratados huesos. "¿No estarás, Alí, excediéndote en tu ambición al querer hallar todas las soluciones? Podría haber un número muy grande."

"La ecuaciones diofánticas no suelen tener demasiadas soluciones", replicó Alí, "aunque hay excepciones. Y en este caso..."

Estuvo garrapateando en el papel. "Me parece poder demostrar que sólo existe un número finito de soluciones. Además, la demostración



nos permite hallarlas todas de forma sistemática. Quizás entre ellas aparezca alguna que te convenga. Supongamos que los denominadores estén ordenados de menor a mayor, esto es, $a \le b$ (a es menor o igual que b) y $b \le c \le d$. Entonces a no puede ser mayor que 4. Si a fuese 5 o más, b, c y d tendrían que ser cinco o mayores, y por consiguiente, la suma de sus recíprocos sería siempre menor que $1/5 + 1/5 + 1/5 + 1/5 = 4/5$."

Mustafá se le quedó mirando. "¿Y eso sirve de algo?"

"Claro. Mira, sabemos que los cuatro números han de ser por lo menos 2. De no ser así, la suma empezaría $1/1$ y sería siempre demasiado grande. Por lo tanto, hay sólo tres casos que considerar: que a sea igual a 2, que sea igual a 3 y que sea igual a 4. En el primer caso, donde se supone que $a = 2$, la ecuación se torna $1/2 + 1/b + 1/c + 1/d = 1$." Alí simplificó un poco esta ecuación y anotó después los tres casos. Cuando $a = 2$, la suma de sus recíprocos b, c y d equivale a $1/2$, esto es, $1/b + 1/c + 1/d = 1/2$, Cuandio $a = 3$, la suma tiene que ser igual a $2/3$, y cuando $a = 4$, la suma es igual a $3/4$.

Mustafá parecía desconcertado. "Pero, Alí, todo lo que has hecho es sustituir una ecuación por tres."

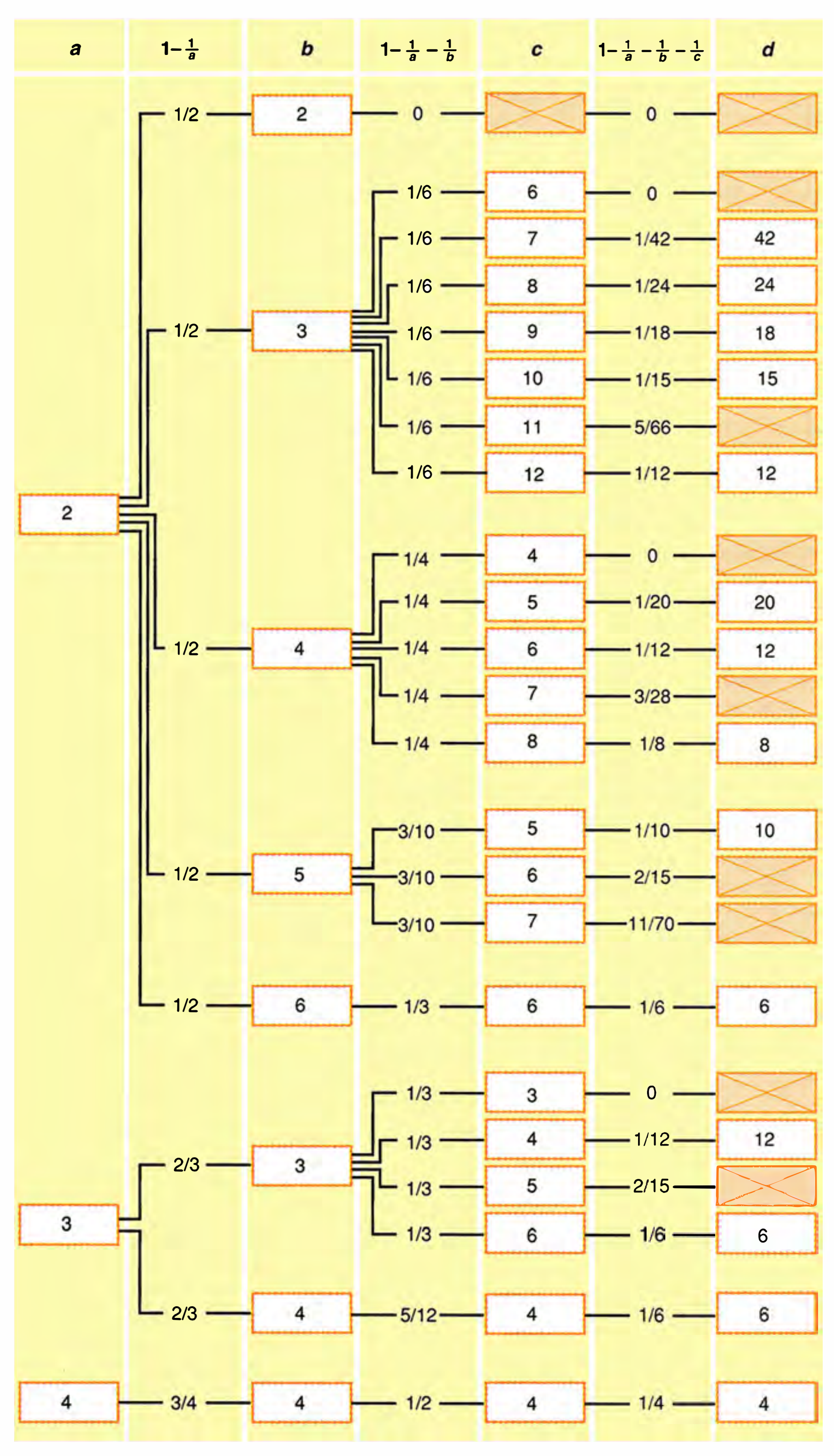
"En efecto, Mustafá, pero ahora cada ecuación tiene tres incógnitas en lugar de cuatro. Y además, puedo repetir el procedimiento con cada una. Fijémonos, por ejemplo, en la primera de las tres ecuaciones, $1/b + 1/c + 1/d = 1/2$. Ahora queda claro que el segundo número, b, no puede ser mayor que 6. De lo contrario, la suma sería menor o igual que $1/7 + 1/7 + 1/7 = 3/7$, que es menos que $1/2$. De igual manera, para tres recíprocos que sumen $2/3$, b no puede ser mayor que 4; y para una suma de $3/4$, b también deberá ser a lo sumo 4. Por consiguiente, cada uno de los tres casos correspondientes al número a se descompone en un número finito de subcasos para b."

"¡Y entonces repetimos el truco!", exclamó Mustafá.

"Eso es. Como he dicho, si $1/b + 1/c + 1/d = 1/2$, b tiene que ser 6 como máximo. Y puesto que a es igual a 2 en este caso, b tiene que ser al menos 3. Supongamos, por ejemplo, que b sea 3. Entonces $1/2 + 1/3 + 1/c + 1/d = 1$. Esto es, $1/c + 1/d = 1/6$."

"De lo cual podemos deducir que c será 12 a lo sumo, dado que $1/13 + 1/13$ es igual a $2/13$, menor que $1/6$", dijo Mustafá, muy animado.

"Muy bien. Y eso nos da solamente un número finito de subcasos para c, tras lo cual d tiene un único valor que podemos calcular exactamente. Por ejemplo, si $a = 2$, $b = 3$ y $c = 11$, d tendría que satisfacer $1/2 + 1/3 + 1/11 + 1/d = 1$, lo que implica que d es $66/5$. Como ese valor no es entero, podemos afirmar que no existen soluciones con $a = 2$, $b = 3$ y $c = 11$. Por otra parte, si $a = 2$, $b = 3$ y $c = 10$, entonces $1/2 + 1/3 + 1/10 + 1/d = 1$, lo que implica que $d = 15$. Esta vez sí encontramos una solución. En general, si d resulta ser número entero habremos encontrado una so-



2. LA ECUACION DE MUSTAFA, $1/a + 1/b + 1/c + 1/d = 1$, tiene exactamente 14 soluciones en el caso de que a, b, c y d hayan de ser números positivos con $a \le b \le c \le d$. Los recuadros de color indican casos en los que a, b, c o d han de ser fraccionarios o nulos.

lución; de lo contrario, ese subcaso particular no conduce a solución.

"Además, el mismo razonamiento vale para cualquier ecuación de la forma $^1/_a + ^1/_b + ... + ^1/_z = ^p/_q$, donde a, b, ..., z, p y q son números enteros positivos. Existe sólo un número finito de maneras de expresar una fracción dada en suma de fracciones egipcias con número prefijado de términos. Las soluciones pueden hallarse mediante una serie de deducciones sencillas."

Mustafá tosió y escupió sangre. "Al parecer, Alí, has demostrado un teorema muy general."

"Me parece que sí. Concédeme ahora unos momentos, para calcular todas las soluciones posibles de tu ecuación." Alí estuvo garrapateando furiosamente [*véase la tabla adjunta*]. "Yo hallo exactamente 14 soluciones diferentes."

"La cuestión que ahora nos mira de frente es la de redactar tu testamento", señaló Alí. "La primera solución que nos da la tabla es $^1/_2 + ^1/_3 + ^1/_7 + ^1/_{42} = 1$. Mustafá, si poseyeras un total de 41 camellos, podrías disponer que tu hijo mayor heredase la mitad del rebaño, el segundo habría de recibir la tercera parte y tu tercer hijo, la séptima. Entonces, si murieras, ¡Alá lo prohiba! ellos tendrían que hallar un cuadragésimosegundo camello para cumplir tu voluntad. En tal caso, el mayor recibiría 21 camellos, el segundo hijo, 14 y el tercero, seis."

El moribundo asió la mano del barbero. "Alí, has dado respuesta a mis oraciones. Basta ahora con que me procure dos camellos más. Encárgate de que los términos de voluntad sean redactados inmediatamente."

Se produjo cierta conmoción en el exterior de la tienda. De pronto, un chiquillo se coló por bajo de los faldones. "¿Qué ocurre, Hamid? ¿Tienes por costumbre acercarte al cabeza de familia en tan precipitada manera?"

"Os pido mil perdones, señor nuestro Mustafá ibn Mokhta. ¡Fátima, vuestra tercera esposa, acaba de daros un hijo varón! ¡Vuestro cuarto hijo varón!"

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

RIDDLES IN MATHEMATICS: A BOOK OF PARADOXES, Eugene P. Northrop. Krieger, 1975.

JUEGOS MATEMATICOS. Martin Gardner, en *Investigación y Ciencia*, n.º 27, diciembre de 1978, págs. 100-102.

UNSOLVED PROBLEMS IN NUMBER THEORY. H. Croft y R. K. Guy. Springer-Verlag, 1981.

Libros

Luis Alonso, J. E. Martínez Legaz, Laureano Carbonell y J. A. Martínez

Ciencia medieval

Bestiarios y aviarios

BEASTS AND BIRDS OF THE MIDDLE AGES. THE BESTIARY AND ITS LEGACY. Dirigido por Willene B. Clark y Meredith T. McMunn. University of Pennsylvania Press; Philadelphia, 1989.

THE NAMING OF THE BEASTS: NATURAL HISTORY IN THE MEDIEVAL BESTIARY, por Wilma George y Brunsdon Yapp. Duckworth; Londres, 1991.

THE MEDIEVAL BOOK OF BIRDS. HUGH OF FOUILLOY'S AVIARIUM. Edición crítica, traducción y comentario de Willene B. Clark. Medieval and Renaissance Texts and Studies. State University of New York; Binghamton, 1992.

La biología medieval tienen en los bestiarios, o libros sobre los animales, uno de sus reductos más interesantes. Considerados durante mucho tiempo escritos espirituales para la educación de los monjes, o apólogos morales para los fieles en general, apenas si merecieron la atención de los historiadores de la ciencia, hasta que los rescató y ordenó, hace una treintena de años, Florence McCulloch.

Los bestiarios tienen, efectivamente, esa vertiente religiosa y ética: cada virtud y cada vicio hallan su representación simbólica en un mundo animal antropomorfo. Pero los libros sobre las bestias poseen, asimismo, un genuino valor naturalista en un doble sentido, en el de la ilustración que los acompaña y en el texto. De esta dúplice significación se ocupan principalmente tres libros recientes, objeto de nuestra reseña: el primero aporta el marco general y quiere ser prolongación de la obra de McCulloch, el segundo se centra en los bestiarios ingleses y el tercero aporta la edición crítica de un aviario, tipo particular de bestiario y, al tiempo, complementario de ese género literario.

El origen de los bestiarios está en el *Physiologus* ("El naturalista"), obra escrita probablemente en Alejandría durante el siglo segundo de nuestra era. Existen varias versiones del mismo, que difieren en extensión; los hay que sólo poseen 20 capítulos en tanto que otros llegan hasta los 50. Cada capítulo está dedicado a un animal, y en su exposición se mezclan la observación directa, la creencia popular, la fábula y el mito. Alcanzó una difusión amplísima merced a sus traducciones al latín, copto, etíope, armenio, sirio, árabe, alemán, inglés arcaico, francés e italiano.

No está clara la transición del *Physiologus* a los bestiarios. Coinciden en estructura y carácter, aunque aquél pone mayor énfasis en el aspecto espiritual y éstos destacan la exposición naturalista. Por eso se acepta que el bestiario viene a ser la interpolación recargada del *Physiologus* con nuevos capítulos basados en el *Hexameron* de san Ambrosio, en las *Etimologías* de san Isidoro y en otros autores tardíos. Los primeros bestiarios datarían del siglo X, pero la mayoría de los latinos se confeccionó dos y tres centurias más tarde, en tanto que los vernaculares continuaron su popularidad hasta comienzos del siglo XV.

Los bestiarios constan de dos partes: texto e ilustración, o texto y vacío dejado para el dibujo; lo segundo, sobre todo, en los traducidos a alguna lengua local. También en esto se alejan del *Physiologus*, que suele ser parco en figuraciones.

Beasts and Birds of the Middle Ages, que se abre con una concisa y clara introducción general de los editores, cumple un triple objetivo: presentar nuevo material sobre los bestiarios y temas afines, exponer las cuestiones que los medievalistas debaten a propósito de las mismas desde diversas perspectivas (literatura, arte, historia y hermenéutica de manuscritos) y encauzar las futuras corrientes de investigación.

Para su desarrollo, las colaboraciones se agrupan en cuatro categorías. En la primera, del uso del bestiario, Beryl Rowland nos descubre la relación que existe entre esos relatos animados y la memoria durante la antigüedad clásica y el período medieval. La imagen visual (la ilustración) y auditiva (el texto) deben evocar la enseñanza contenida. Cuanto más viva sea la imagen, con mayor eficacia actuará; por eso, junto a unos colores intensos y unos trazos seguros, la escena siempre aparece activa, animada. El propósito último es que el destinatario fije firmemente la imagen y aplique su enseñanza a su propio comportamiento.

Pertenecen a la segunda categoría, o estudio de dos estilos y formatos de bestiario, las colaboraciones de Willene B. Clark y Xenia Muratova. Hay en la biblioteca Houghton de Harvard un manuscrito del siglo XIII que trae por separado un aviario del bestiario general, en el que abundan los espacios vacíos para las ilustraciones sobre las figuras terminadas. El autor del aviario es Hugo de Fouilloy, tema y autor que Clark introduce aquí y desarrolla por extenso en el último libro de la reseña. Muratova nos acerca al taller de elaboración de los bestiarios del XII, a través del estudio comparado del ejemplar de Ashmole con el de Aberdeen, considerados manuscritos gemelos, aunque no univitelinos. El de Aberdeen se inscribe en el mundo cultural del románico, en tanto que el refinamiento textual del Ashmole denuncia su proximidad con la cultura gótica, pero con mezclas de uno y otro período en ambos.

La tercera y cuarta categorías se decantan decisivamente por la historia del arte y la literatura cortesana, con justo énfasis en la imaginería amorosa árabe, y se ofrecen espléndidos excursus sobre el simbolismo de determinados animales, mitológicos o idealizados: ave fénix, ruiseñor, elefante y león.

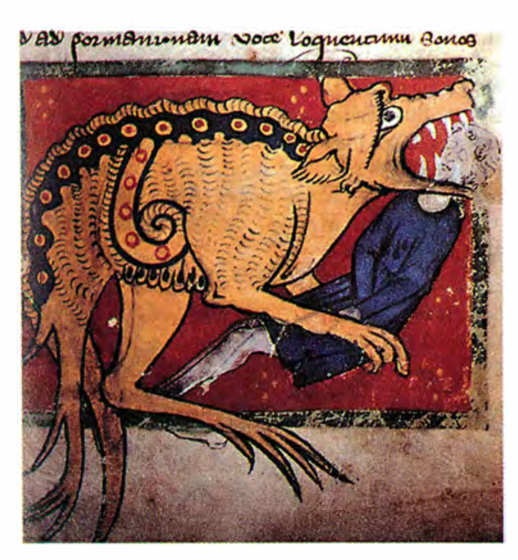
Antes de abrir *The naming of the beasts* le conviene al lector detenerse en el apéndice de la obra anterior: los manuscritos existentes de las versiones de los bestiarios medievales occidentales. Admiten esos manuscritos una primera clasificación por razón del idioma (versiones latinas, versiones francesas, versión inglesa, versiones italianas y versiones catalanas). Los bestiarios catalanes, de los siglos XV y XVI, son todos traducciones de las italianas. Las versiones latinas se subdividen, a su vez, en B-Is (porque combina la plantilla del *Physiologus* con fragmentos isidorianos), DC (atribuido erróneamente a



Ciervos en familia. (Biblioteca Bodleyana, MSA 764 f. 20.)



Buey (bos, arriba) *y toro* (taurus, abajo) *con mechones de pelo. (Biblioteca Británica. MS Harley 3244 f. 47.*



Cocodrillus *pintado de amarillo. (St. John's College Oxford MS 178 f. 167.)*



Adán pone nombre a los animales. (John's College Oxford MS 178 f. 172 v.)

san Juan Crisóstomo, con interpolaciones de otros padres de la Iglesia), H (derivado de B-Is), versión de transición (combinación de una fuente B-Is mermada y de la llamada segunda familia), segunda familia (la mejor estudiada y la más nutrida), tercera familia y cuarta familia, las dos últimas de composición tardía.

Ese es el cuadro del que discrepa en parte y subdivide en otra Brunsdon Yapp, autor de la introducción, de los escenarios generales y del capítulo dedicado a las aves en *The naming of the beasts*. Wilma George ha redactado el apartado sobre los mamíferos; y ambos las páginas concernientes a los reptiles, peces, vermes e insectos. En una meritoria labor historiográfica y naturalista le han dado la vuelta a la mayoría de los bestiarios anglo-latinos, que equivale a decir a la mayoría de los manuscritos existentes; reconocemos su labor historiográfica porque reclasifican, datan y denuncian las filiaciones de las distintas familias y subfamilias; destacamos su labor naturalista porque, por vez primera de forma sistemática, se apartan del análisis textual al uso, que atiende al simbolismo y significado religioso, para unir texto e imagen en una interpretación del saber biológico de los siglos centrales de la Edad Media.

Con el relato del Génesis y el comentario a los seis primeros días bíblicos delante, el autor del bestiario ilustra esas etapas con animales domésticos, alguno de presa y otros familiares para el lector. Tras la creación, el acto de darles nombre, que se extrae de las *Etimologías* de san Isidoro. A continuación, la sucesión de especies. Las bestias propiamente dichas, en la escuela isidoriana, son los mamíferos carnívoros, entre los que el león ocupa, por su fiereza, un lugar preeminente en todos los manuscritos; siguen las aves, "unívocamente así llamadas pero de géneros múltiples". La distribución del mundo animal restante varía de un bestiario a otro, aunque, por lo común, adscritos a sendos capítulos sobre reptiles, vermes y peces.

Wilma George crea una suerte de clasificación media de las particiones habituales, expresas o implícitas, de los mamíferos. Habría dos grandes grupos generales, el de los salvajes y el de los domésticos. Los salvajes, unos, tendrían garras poderosas (félidos), otros pequeñas (múridos, mustélidos, etcétera), otros poseerían cascos (grandes herbívoros), unos terceros uñas (simios y animales mitológicos como la esfinge), los habría en cuarto lugar que nadarían (ballena, delfín, foca, etcétera) y, por fin, los voladores (murciélago). Los domésticos son el ganado y bestias de carga.

La descripción de cada animal atiende, sobre todo, a su rasgo distintivo, ya sea de morfología (en el erizo las púas), habilidad (en la liebre la rapidez), conducta (en el tigre su sigilosidad), hábito alimentario (herbívoro o carnívoro) o cualidad antropomorfa (mansedumbre, amor materno, etcétera). Se hace mención a veces de las distintas especies y lugares, si bien predominando los animales de la región, algunos ya extintos.

El análisis del texto, que les sirve a los autores para indicar el origen de la definición y justificar su inclusión en este o aquel bestiario de determinado lugar y tiempo, se completa con el estudio detenido de los

dibujos. Se nos resalta aquí la composición de la escena, su dinamismo (nunca es naturaleza muerta: oveja balando, jabalí hozando), el binomio madre-crías y la persistencia de otros grupos escénicos (depredador-presa, especie-fruto de que se alimenta, hombre-animal).

Algunos comentarios constituyen capítulos enteros de la historia de la zoología antigua y medieval, con el refrendo de una riquísima iconografía. Dos salvedades, empero: hubiera sido interesante introducir los grandes tratados zoológicos y enciclopédicos medievales en ese contexto y, en segundo lugar, ya de pura elegancia, no se explica el olvido del primer libro reseñado, incluso en la bibliografía selecta.

The Medieval Book of Birds recibió varios nombres a lo largo de la Edad Media: *Sobre las aves, Sobre la paloma argéntea, Sobre la naturaleza de las aves* y *Opúsculo a Rainero*. Es, sin embargo, el mismo libro, aunque la tradición manuscrita en él basada sea prolífica, en noventa y seis códices, cincuenta y cinco de los cuales están parcial o plenamente ilustrados. Hughes de Fouilloy, prior del monasterio agustino de san Nicolás de Regny, cerca de Amiens, lo escribió a comienzos del segundo tercio del siglo XII.

Por su belleza, plástica y textual, amén de la riqueza de su contenido en varios aspectos, ha sido objeto de múltiples ediciones y estudios, si bien ninguno ha abordado el *Aviario* completo, y a esa necesidad es a la que hace frente Willene B. Clark, consiguiendo una edición crítica valiosa. Junto al texto latino, encontrará el lector en la página opuesta la versión inglesa de los sesenta capítulos de que consta. Agrégase a ello apéndices relativos a las viñetas, al análisis de los manuscritos que nos han llegado y un derroche iconográfico, en blanco y negro, de figuras representativas.

Y la introducción: la vida y el entorno de Hugo, las familias de manuscritos y el taller copista. Para su redacción, pensada para educación de los monjes que no seguían la carrera sacerdotal, Hugo toma por modelo los bestiarios y, a través de éstos, el *Physiologus*. Clark distingue dos partes, separadas por su contenido. Una, que abarcaría los primeros treinta y siete capítulos, fundados en la glosa a las aves de que habla la Escritura, y otra en que el punto de arranque suelen ser autores medievales, en particular Isidoro y Hrabano Mauro, con la observación propia.

La ilustración tenía, en su sencillez, la doble misión de enseñar a un mundo escasamente letrado y memorizar el contenido, según indicábamos más arriba. Habida cuenta del destinatario, la finalidad moralizadora es obvia. Pero, ¿cuál era el valor naturalista del *Aviario*? Aunque apenas lo roza Clark, podemos inferirlo de la propia lectura de esa bellísima descripción del mirlo, el gallo, la grulla, la paloma, el águila, el ganso, el halcón, el buitre, el águila, el búho, la perdiz, la tórtola, la cigüeña, el gorrión, y así muchísimos más. Sea, por ejemplo, el grajo, del que trata en el capítulo 50. Comienza dando la definición etimológica, un tanto peregrina propia de los tiempos (*"graculus* a garrulitate nuncupatus", el grajo así llamado por su —voz— gárrula); expone luego su forma de vida en el bosque y en cautividad y extrae las consecuencias morales del hombre y la sociedad gárrula. En otras ocasiones, ofrece las variedades salvajes y domésticas del ave, la renovación del plumaje, los olores característicos.

Esa dispersión de conocimientos, lo mismo en bestiarios que en aviarios, hallará cauce sistematizador en los grandes naturalistas de la centuria siguiente, en los *Libros sobre los animales*, de Alberto Magno, de manera destacada. (L. A.)

Análisis

y teoría de la aproximación

ANALYSIS II: CONVEX ANALYSIS AND APPROXIMATION THEORY, por V. M. Tikhomirov; Springer Verlag; Berlín, 1990.

El segundo volumen dedicado al análisis matemático de la "Encyclopaedia of Mathematical Sciences" consta de dos partes claramente diferenciadas, la primera sobre análisis convexo y la segunda sobre teoría de la aproximación. El autor, V. M. Tikhomirov, es un destacado especialista en ambos campos; su libro *The theory of extremal problems*, escrito conjuntamente con A. D. Ioffe, constituye una referencia clásica en teoría de optimización. Precisamente esta última disciplina ocupa un lugar intermedio entre el análisis convexo y la teoría de aproximación, pues, siendo la convexidad su base teórica, cabe considerar como un problema de optimización el consistente en encontrar la función que, entre las de una cierta clase, mejor se aproxima a una función dada, es decir, el problema fundamental de la teoría de la aproximación.

Por ello resulta sorprendente que el tratamiento que recibe en este texto la teoría de optimización se limite a unas pocas páginas de la primera parte dedicadas a los resultados básicos de programación lineal y programación convexa, sin ningún vínculo con la teoría de la aproximación desarrollada en la segunda. Si algo hubiera permitido dar unidad a este volumen habría sido resaltar el nexo natural entre sus dos partes que constituye la teoría de optimización.

El análisis convexo es una rama del análisis matemático cuyos orígenes cabe situar a principios del presente siglo con la aparición de los trabajos fundamentales de H. Minkowski, donde se estudian los conjuntos convexos. La importancia de la convexidad en el análisis funcional se puso pronto de manifiesto (teorema de Hahn-Banach) y, ya a finales de los años cuarenta, el estudio de las funciones convexas recibió un notable impulso con los trabajos de W. Fenchel, en los que, entre otras cosas, se introduce la teoría de la conjugación. En las décadas siguientes los problemas planteados por la teoría de optimización proporcionaron un nuevo estímulo para el desarrollo del análisis convexo, que culminó en 1970 con la aparición del hoy clásico texto *Convex Analysis*, de R. T. Rockafellar.

La importancia del análisis convexo reside no sólo en sus aplicaciones, sino también en el punto de encrucijada en que se encuentra, a caballo entre la geometría y el análisis, por un lado, y entre el análisis lineal y el no lineal por otro. Perteneciendo al dominio del análisis no lineal, el análisis convexo posee una estructura extremadamente rica, en parte heredada del análisis lineal, al cual extiende y generaliza.

En la introducción de la primera parte se presentan las nociones básicas del análisis convexo, así como una relación de teoremas geométricos específicos del caso finito-dimensional, concluyendo con una breve visión del desarrollo histórico de la disciplina.

En el capítulo primero se establecen las principales propiedades de los conjuntos convexos y las funciones convexas y se enuncian los teoremas fundamentales. El siguiente está dedicado a la conjugación, o transformación de Legendre-Young-Fenchel, y al cálculo subdiferencial. El tercer capítulo trata de las aplicaciones. Incluye breves introducciones a la programación lineal y a la programación convexa, varios teoremas sobre desigualdades geométricas extremales, aplicaciones al cálculo de variaciones y

a la teoría de control óptimo y algunos resultados básicos de la teoría de inecuaciones lineales. En un breve apartado, se enuncian dos teoremas fundamentales sobre aplicaciones multivaluadas: el teorema de selección de Michael y el teorema de punto fijo de Kakutani.

El capítulo cuarto consta de tres secciones. En la primera se presenta una breve introducción al análisis no diferenciable, que se reduce esencialmente a la definición y propiedades del subdiferencial de Clarke. La siguiente sección aborda los operadores convexos que toman valores en retículos vectoriales. En la tercera sección se enuncian teoremas de existencia y unicidad de la representación de los elementos de un conjunto convexo mediante medidas de probabilidad (teoría de Choquet).

La comparación de esta primera parte con el clásico *Convex Analysis* de Rockafellar resulta inevitable; en mi opinión este último es claramente superior. No obstante, el trabajo de V. M. Tikhomirov presenta aspectos interesantes y posee algunas ventajas. El autor ha intentado desarrollar el análisis convexo en el marco más general posible, sin limitarse a espacios de dimensión finita; así, la mayor parte de la exposición se refiere a la convexidad en los espacios vectoriales topológicos localmente convexos. Esto le ha permitido incluir algún material que no aparece en el texto de Rockafellar, como el análisis convexo en espacios de funciones vectoriales medibles, las aplicaciones a problemas variacionales o la teoría de Choquet. También resultan útiles las secciones dedicadas a las desigualdades geométricas extremales, al análisis no diferenciable, a las aplicaciones multivaluadas y a los operadores convexos.

En la segunda parte el autor ha tenido que realizar una cuidadosa selección del material a incluir y lo ha hecho siguiendo el criterio, expuesto en la introducción, de mostrar la evolución histórica de las ideas. Este propósito lo ha materializado resaltando los diversos aspectos en que la investigación en teoría de la aproximación puso su énfasis a lo largo de cada una de las etapas de su desarrollo. En cambio no han quedado reflejados los sucesivos puntos de vista sobre la disciplina que han ido apareciendo a lo largo del tiempo y que, a mi juicio, le han ido confiriendo madurez hasta convertirla en una nueva teoría independiente, al superar el estadio de mera colección de resultados dispersos. Me refiero principalmente a la sistematización resultante del empleo de los métodos del análisis funcional moderno o a su tratamiento a partir de la convexidad y la teoría de optimización. Refiriéndose a las propiedades generales de las soluciones del problema consistente en minimizar la distancia a un punto dado en un espacio normado, el autor escribe: "esto no es teoría de la aproximación" (aunque después añade ciertas matizaciones a esta rotunda afirmación). Mi opinión es radicalmente opuesta, ya que este problema constituye la formulación geométrica del problema fundamental de la teoría de la aproximación.

Después del capítulo introductorio, en el que aparecen los conceptos fundamentales que se van a tratar, el capítulo primero se dedica a la teoría de la aproximación clásica, entendiendo como tal la que se desarrolló en la época del que puede considerarse su fundador, P. L. Chebyshev, quien a mediados del siglo pasado inició el estudio de la aproximación uniforme por medio de polinomios y propuso métodos para el cálculo de las aproximaciones óptimas de algunas funciones. En este capítulo aparecen los polinomios ortogonales, la interpretación gaussiana, el teorema de Weierstrass sobre la densidad del subespacio de los polinomios en el espacio de las funciones continuas sobre un intervalo cerrado con la norma del máximo, así como varias de sus generalizaciones, culminando con la versión más abstracta y potente debida a Stone. El capítulo concluye con una sección sobre la teoría constructiva de funciones, centrada en el comportamiento asintónico de los errores de aproximación.

El segundo capítulo trata de métodos de aproximación clásicos, tales como la aproximación de funciones periódicas por medio de polinomios trigonométricos, sumación de series de Fourier, etcétera.

El capítulo tercero, de carácter más avanzado, estudia diversas nociones de "width" (anchura o diámetro) de subconjuntos de espacios normados, la de Σ-entropía y otros conceptos encaminados al análisis comparativo de los distintos métodos de aproximación y a la búsqueda de métodos óptimos según criterios apropiados. En el cuarto y último capítulo se presentan las relaciones de la teoría de la aproximación con otras ramas de la matemáticas: teoría de problemas extremales, análisis armónico, análisis funcional y geometría.

En lo que concierne a desarrollos futuros, V. M. Tikhomirov menciona que en una próxima etapa debería ponerse énfasis en la idea de la complejidad de la aproximación. También sugiere que la teoría de la aproximación debería irrumpir en el terreno de las probabilidades, extendiéndose a la aproximación de objetos aleatorios. Y, por último, expresa la opinión de que la interacción con otras ramas de las matemáticas puede dar lugar a otras fructíferas líneas de investigación en teoría de la aproximación.

Pese a las críticas expuestas, a las que cabría añadir la motivada por la total ausencia de material relacionado con algoritmos de aproximación, la segunda parte de este volumen posee el valor de la amplitud y profundidad de los temas tratados. (J. E. M. L.)

España de los Austrias

Hundimiento naval

THE ARMADA OF FLANDERS. SPANISH MARITIME POLICY AND EUROPEAN WAR, 1568-1668, por R. A. Stradling. Cambridge University Press; Cambridge, 1992.

El autor es profesor de la Escuela de Historia y Arqueología del Colegio de Cardiff de la Universidad de Gales, donde se doctoró en 1968 con una tesis sobre las relaciones anglo-españolas de 1660 a 1668. Hispanista de larga trayectoria, ha publicado varios libros y numerosos artículos sobre nuestro país. En la que nos ocupa, Stradling refleja la política naval europea de la corona española hasta poco después de la paz de Westfalia (1648), en la que los Países Bajos obtuvieron la independencia. Obviamente, el tema principal de estudio es la actuación española, analizada en los aspectos administrativos, humanos y económicos de interés naval.

En su opinión, España hubiera podido contener la rebelión de los Países Bajos desde el primer momento, de haber tenido allí la fuerza y las bases navales necesarias, en vez de la flotilla fluvial al servicio de los tercios de que disponía. Esto permitió a los partidarios de la rebelión apoderarse de las costas de la desembocadura del Escalda y ejercer desde allí su influencia en el litoral del norte de Holanda y la provincia de Brabante, que luego se extendió a toda la de Zelanda. España adoptó una política indecisa; en vez de crear una flota de naves a propósito, se impuso el criterio de organizar unas flotillas de unidades menores cuyo resultado fue nulo. De todos modos,



Teatros de operaciones de la Armada con base en Dunquerque, 1598-1656, con la indicación de otras poblaciones con ella relacionadas y citadas en la obra de Stradling.

las dificultades financieras de España no propiciaban tampoco otra solución.

La situación, según demuestra el autor, empezó a cambiar a raíz de la anexión de Portugal (1580), cuya flota pasaría a ocuparse de Flandes, mientras la misión de la española seguiría siendo la protección de las procedentes de las Indias. Sin embargo, habría que esperar a la década siguiente al desastre de 1588, para que el país reaccionara con una política naval más acorde con las necesidades del momento. Esto supuso la creación de una Armada del Mar Océano permanente, con bases en Cádiz y Lisboa y el traslado del Almirantazgo de la flota de Flandes a Amberes y luego a Dunquerque.

Tras el inicio de la Guerra de los Treinta Años se reprodujo la rebelión de los Países Bajos, con una España sin madera y menestorosa de materias primas, como abacá, lino y brea, entre otros, que cubría sólo del orden del 20 % de las necesidades de la construcción naval; carente, además, de capacidad para fundir el número de cañones precisos. Se apoyó esa guerra en el bloqueo de la flota en Dunquerque por parte holandesa y, por parte española, en la destrucción de los pesqueros (la pesquería del arenque constituía la principal industria holandesa, de la que vivían 500.000 personas, casi la mitad de la población).

Las cosas cambiaron de raíz en 1625, cuando Inglaterra se alineó con los holandeses. Entonces se inició el período de dominio marítimo español, que duraría hasta 1645, y cuya primera manifestación fue la derrota de una flota angloholandesa, que perdió de 25 a 50 naves, en un combate frente a Cádiz. A esto le siguió el éxito del corso, en su mayor parte practicado por particulares o armadores, que en el período 1627-1634 hicieron unas 1500 presas, además de causar el hundimiento de más de 300 naves. Stradling revisa la distribución de los beneficios de tal actividad, sin olvidar los impuestos que la gravaban. En estos momentos la política española propugnaba la penetración en el Báltico, lo que no se llevó a cabo. De haberlo hecho hubiera implicado la cesión de privilegios comerciales a la Hansa en el Mediterráneo, en detrimento de los que disfrutaban las provincias amigas de Flandes.

La bancarrota de 1627 estuvo a punto de desmantelar la presencia, y hubo que aumentar la asignación anual a Flandes, que en 1630 fue de 3 millones de escudos, y cuyo 10 %, destinado a la flota, era del todo insuficiente. Hacia 1632 España sufrió un nuevo problema: la falta de marineros. En 1637 tornó a imponerse la idea de humillar a los holandeses, con unos resultados en su ejecución nada brillantes: entre 1638 y 1640 España perdió unas 100 naves de guerra en combate.

Dunquerque empezó a ceder el protagonismo a Cádiz y La Coruña, proceso que culminó cuando Felipe IV puso las necesidades de Castilla por delante de las flamencas, a raíz de las sublevaciones y levantamientos de Portugal y Cataluña, llegándose a la paradoja de que los propios holandeses se convirtieran en financieros de la corona española. Poco después, en 1646, Dunquerque cayó en poder de los franceses, pero España volvió a reconquistarla en 1654, para perderla definitivamente frente a ingleses y franceses en 1658. Había cesado la influencia española en el norte de Europa.

Stradling nos ofrece el fruto de una exhaustiva investigación en los principales archivos españoles y algunos del extranjero. Ha estructurado la obra en cuatro partes, cada una de ellas dividida en varios capítulos y estos a su vez en secciones, que enmarcan perfectamente todos los aspectos estudiados, y termina en un epílogo de conclusiones. De lectura fácil y amena, el libro constituye una notable aportación al conocimiento de la actuación española en el ámbito marítimo durante todo el proceso que culminó con la independencia de los Países Bajos. (L. C. R.)

Filosofía práctica

Etica de la decisión

PROCEDIMIENTOS DE DECISION EN ETICA CLINICA, por Diego Gracia. Eudema; Madrid, 1991.

Autor asimismo de *Fundamentos de bioética*, Diego Gracia es catedrático de historia de la medicina de la Universidad Complutense y director del máster de bioética de la misma. Se propone en ella plantear, desde una doble perspectiva, histórica y sistemática, la fundamentación de los juicios morales en medicina. El eje diacrónico (desde el paternalismo médico al bien de terceros, pasando por el derecho del enfermo, como los hitos en que se ha expresado la ética médica) se presenta como introducción al estudio de la bioética, cuyos problemas de fundamentación se analizan siguiendo el eje lógico-sincrónico.

Expresa en el prólogo su sospecha y preocupación por una posible fatiga "fundamentalista" del lector ante la avidez de soluciones directas e inmediatas que suelen tener los médicos y sanitarios en general. En su descargo aduce la firme intención de que pronto quede compensada con el sesgo mucho más "decisionista" del segundo volumen, que se ocupará de la bioética clínica. A esta promesa se refiere el autor en las páginas prologales de *Procedimientos de decisión en ética clínica* para dar cuenta de que ese complementario segundo volumen sólo será posible tras el previo análisis monográfico de los principales problemas éticos que hoy tiene planteados la clínica. Por eso, "nos hemos decidido a elaborar un conjunto de monografías, la primera de las cuales es la que ahora ve la luz. Le seguirá otra sobre el estatuto ontológico y ético del embrión, y después varias más". Sólo al final de este proceso será posible elaborar el prometido volumen de bioética clínica.

En los veinte años con que cuenta la bioética, su preocupación metódica ha sido muy importante. ¿Cuál es el modo, el método que **mejor** me permite, se pregunta el médico, resolver los problemas que se me plantean en la práctica diaria? De eso trata Gracia: Su primer objetivo es la exposición de los diferentes intentos que durante los últimos veinte años se han realizado para contestar a esas preguntas. El segundo, quizá más ambicioso, consiste en proponer un procedimiento práctico de toma de decisiones éticas en el ámbito de la medicina, que permita al clínico resolver los casos sin abandonar las técnicas de análisis y decisión que conoce y practica desde sus años de propedeútica clínica.

Conforme con este doble objetivo se desarrollan las dos primeras partes del texto: "Los métodos de la ética clínica" y "La pregunta por el fundamento". (Hay una tercera, la conclusión, en que se hace "una propuesta metódica" práctica). En la primera, se estudian varias metodologías éticas: enfoque principalista de Beauchamp y Childress, el procedimiento casuístico propuesto por Jonsen y Toulmin, el método narrativo de Burrel y Brody, el enfoque clínico ofrecido por Thomasma, Pellegrino y otros, y las propuestas sincréticas elaboradas por Drane, Erde y algunos más. Sigue un proceder distinto del adoptado por Graber y Thomasma en *Theory and Practice in Medical Ethics.*

Gracia dedica la segunda parte de su trabajo al análisis crítico de distintas metodologías y a ofrecer un nuevo procedimiento metódico, convencido de que no es posible resolver los problemas de procedimiento sin abordar las cuestiones de fundamentación y sobre la hipótesis de que fundamentación y procedimiento son dos facetas de un mismo fenómeno, y que por tanto resultan inseparables. Crítica que desarrolla analizando el casuismo de Toulmin y Jonsen, considerando el concepto de racionalidad moral que subyace a la polémica Rorty-Habermas, para después pasar a ofrecer la alternativa en que se conjugan fundamento y procedimiento. De esto último trata el capítulo 9, "La estructura de la racionalidad ética", en que se ocupa de ver cómo puede actuar la razón moral dentro del marco de referencia que el autor ha denominado "ética formal de bienes, es decir, cómo la ética formal se convierte en moral material, y cuáles son los procedimientos que podemos utilizar para la resolución de los conflictos morales. Para ello se abordan, al hilo de la filosofía de X. Zubiri, los cuatro momentos en que se articula el método de la ética: el sistema de referencia, el esbozo, la experiencia y la justificación.

Cuestiones de las que Diego Gracia se viene ocupando desde hace algún tiempo, y que ha expuesto en varias ocasiones; entre otras, en su discurso de ingreso en la Academia de Medicina, *Primum non nocere. El principio de no maleficencia como fundamento de la ética médica* y en los ya mencionados *Fundamentos de bioética.* (J. A. M.)

Apuntes

Los canales de la membrana celular sólo tienen en común con las conducciones al uso el nombre y la función de acarreo. El agua penetra, sin dificultad, en los eritrocitos y los tubos renales a través de unos hidrocanales de estructura desconocida... hasta ahora. La microinyección, en oocitos de *Xenopus*, de un ARN determinante de la proteína CHIP28 ha redoblado la permeabilidad al agua osmótica en dichas células. A mayor abundamiento, la presencia de cloruro mercúrico, inhibidor del canal, bloquea también la acción de la proteína. De donde se infiere, en lógica bioquímica, que la proteína CHIP28 forma parte del canal de agua.

El éxito de la cosmología no debe hacernos olvidar los graves problemas, de carácter básico, en que se debate. El nacimiento de esa disciplina, en las primeras décadas del siglo, vino preparado por el descubrimiento de la curvatura del espacio-tiempo y la recesión de las galaxias. Pues bien, la constante de Hubble, constante de proporcionalidad entre velocidad de recesión y distancia en un universo en expansión, constituye una propiedad fundamental que acota la escala y la edad de expansión del universo. Se establece a través del valor de las velocidades radiales y distancias galácticas y se cifra en torno a 2. Los valores superiores se apoyan en las mediciones locales, pero esas aproximaciones no hallan fácil acuerdo con muchas teorías sobre la evolución estelar y la macroestructura del cosmos.

Se dice y se repite hasta la saciedad que la astrofísica y la física de partículas se dan la mano a la hora de explorar la materia y su origen. Lo que nadie sospechaba hasta ahora es que los aceleradores de partículas llegarían a convertirse en telescopios. Esa transición se apoya en el axión, propuesto para explicar por qué los neutrones carecen del dipolo eléctrico que les corresponde. Esa partícula hipotética, sin masa ni momento angular, debe producirse abundantemente en el Sol y otras estrellas, aceptado que exista. Pero no es fácil construir un telescopio capaz de detectarlas. Se precisa un larguísimo tubo (en el que se haya operado el vacío), rodeado por campos magnéticos: instrumento reacio a toda maniobrabilidad. Ocurre, sin embargo, que hay dos secciones rectas del anillo de almacenamiento del acelerador lineal del CERN que apuntan a 1,4 grados de la posición de la salida del sol en pleno verano y dos veces al año nuestro astro las corta con sus rayos durante unos 20 segundos. Sin pretenderlo, el acelerador LEP podría, en tres ocasiones al año, constituir un privilegiado observatorio.

¿Tienen los grandes fenómenos grandes causas? La intuición diría que sí, y el peso de la misma induce a buscar motivos parejos a los efectos resultantes. En el relieve terrestre, las montañas del Himalaya destacan por su espectacularidad, explicada tradicionalmente por un episodio singular de tectónica de placas. Se acaba de lanzar una hipótesis alternativa: la fuerza de la erosión de la lluvia que, en una labor de hábil escultura, habría desnudado los montes para conformar la cuenca indogangética.

Una cuestión simple que pudo plantearse Emilio Salgari todavía espera respuesta: ¿por qué no hay árboles en la pradera donde pasta el bisonte? Por si alguien se decide a averiguarlo, indiquémosle que, desde los años cincuenta, las opiniones están divididas entre los que atribuyen a los factores climáticos esa pobreza de leña y los que culpan al hombre y su piromanía.

La imaginación importa para el desarrollo de la ciencia no menos que la infraestructura técnica. Así nació el experimento que dio origen a la teoría fagocítica de la inmunidad: "Cierta tarde", cuenta el propio Elie Metchnikoff, su descubridor, "en que la familia se había ido al circo a admirar la habilidad de los monos, me quedé solo ante el microscopio, observando la conducta de las células móviles de una larva transparente de estrella de mar, cuando una idea cruzó rauda mi mente: la de que células semejantes podrían acudir en defensa del organismo contra los invasores... Me sentí tan excitado, que comencé a dar vueltas por la habitación y hasta tuve que ir a la playa para serenar mis pensamientos. Me decía a mí mismo que, si la idea era verdad, una astilla introducida en el cuerpo de aquella larva, sin vasos sanguíneos ni sistema nervioso, se vería pronto cercada por células móviles, a semejanza de lo que nos sucede cuando nos clavamos en el dedo una espina... Arranqué unas cuantas de una rosa y las introduje en varias larvas... No pude dormir en toda la noche, expectante del resultado... Al amanecer, comprobé que ocurrió tal como había imaginado".

Seguiremos explorando los campos del conocimiento



FILOSOFIA CUANTICA, por John Horgan
Nuevos experimentos, reales e imaginarios, exploran con profundidad creciente el alucinante reino cuántico.

LOS ULTIMOS FABRICANTES DE HACHAS DE PIEDRA, por Nicholas Toth, Desmond Clark y Giancarlo Ligabue
Un encuentro casual con los habitantes de las tierras altas de Nueva Guinea ha proporcionado a los arqueólogos una inapreciable oportunidad para crear un modelo de las técnicas prehistóricas.

FORMACION DE CRISTALES MOLECULARES, por Paul J. Fagan y Michael D. Ward
Al estudiar cómo se unen las moléculas para formar cristales, los investigadores esperan sintetizar materiales con nuevas propiedades eléctricas, magnéticas u ópticas.

PROTEINAS G, por Maurine E. Linder y Alfred G. Gilman
Son moléculas polifacéticas que, alojadas en la cara interna de la membrana de la célula, coordinan las respuestas celulares ante numerosas señales procedentes del exterior.

ALGORITMOS GENETICOS, por John Holland
Programas que "evolucionan", simulando en cierto grado la selección natural, alcanzan a resolver problemas complejos, que ni siquiera quienes los crearon comprenden plenamente.

PRUEBAS DE ALIENTO EN MEDICINA, por Michael Phillips
Desde la antigüedad se sabe que el aire expirado proporciona pistas para diagnosticar muchas enfermedades. Se están desarrollando nuevas pruebas respiratorias como alternativa a otras técnicas diagnósticas invasivas.

ESTRATEGIAS REPRODUCTORAS DE LAS RANAS, por William E. Duellman
El conocido paso de huevo a renacuajo es sólo uno de los muchos métodos que aplican. Otros son: ir de huevo a ranita, incubar los huevos o albergar los renacuajos en el estómago de la madre.

LAS BASES DE LA TEORIA ECONOMICA, por Bernard Guerrien
La modelización de la economía es difícil. El recurso intensivo a las matemáticas no ha dado en economía los resultados esperados, y los modelos se alejan cada vez más del mundo real.

